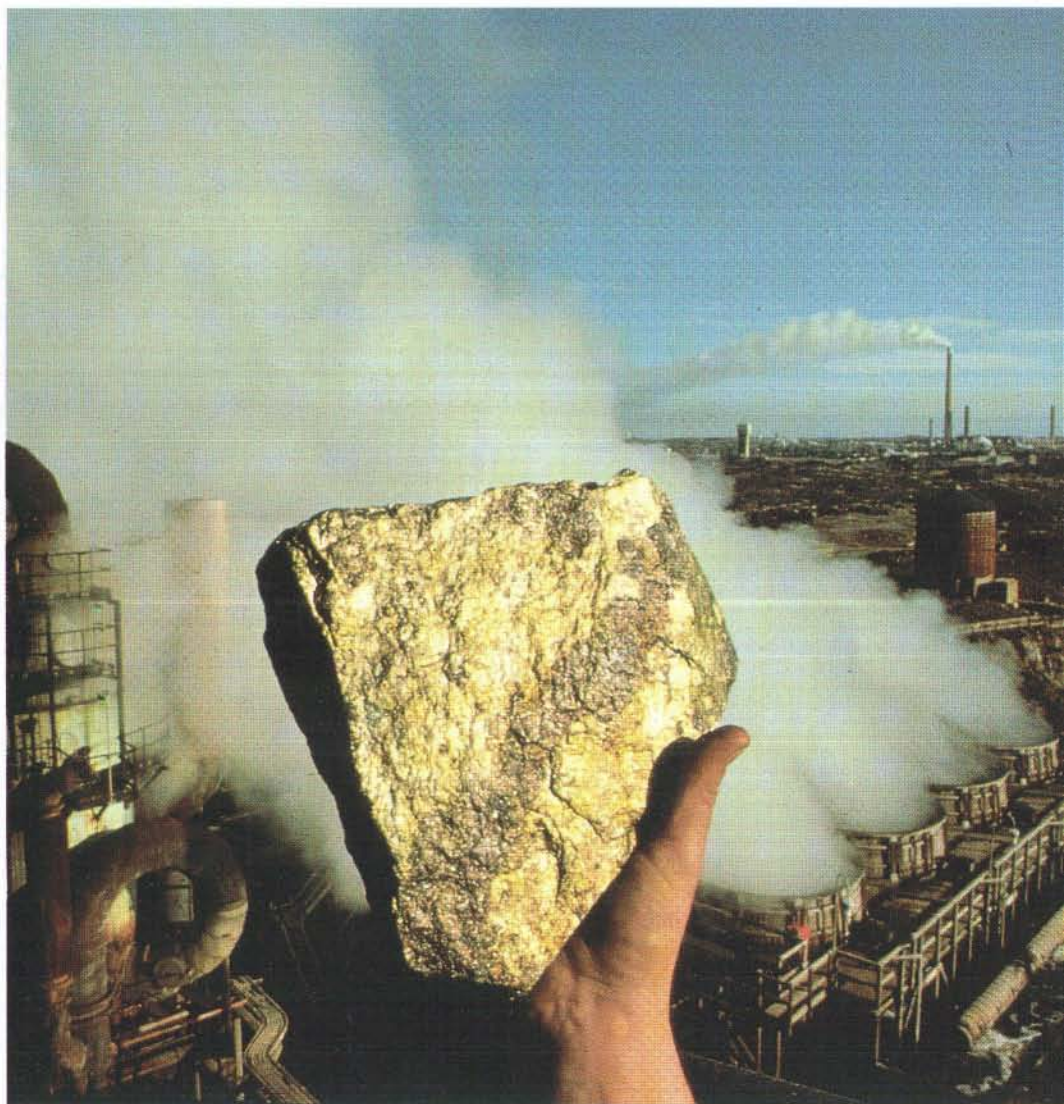


11

53<sup>e</sup> jaargang

# NATUUR '85 & TECHNIEK

natuurwetenschappelijk en technisch maandblad



KATALYSE; DE SNELLE OMWEG / MAGNEETVELDEN VAN DE ZON / EROSIE  
VERZURENDE VENNEN / SUPERGELEIDING; NULPUNT-TECHNOLOGIE

Actuele informatie over

**Biotechnologie**  
**DNA-recombinatie**  
**Maatschappelijke gevolgen van micro-elektronika**  
**Zeeonderzoek**

Bij de Dienst Wetenschapsvoorlichting,  
N.Z. Voorburgwal 120, 1012 SH Amsterdam  
tel. (020) 23 23 04 (vragen naar Marten Knip).

Vermeldt bij uw vraag s.v.p. deze advertentie.  
**Dienst Wetenschapsvoorlichting**

# NATUUR '85 & TECHNIEK

Losse nummers:  
f 8,45 of 160 F.

natuurwetenschappelijk en technisch maandblad



## Bij de omslag

Zwavel vormt de kern van het zure-regenprobleem. Het nikkel-sulfide-erts op de foto bevat tot 30 procent zwavel. Het maakt daarmee de Canadese smelterij op de achtergrond tot de grootste zwaveldioxideproducent ter wereld. De schoorsteen van de fabriek is het symbool geworden van het probleem van de verzuring in Noord-Amerika. Overigens is de uitstoot van zwavel niet de enige oorzaak van deze complexe problematiek. Dat blijkt ook in het artikel op pag. 840 e.v.

Foto: Ted Spiegel/Transworld Features, Haarlem

Hoofdredacteur: Th.J.M. Martens.

Adj. hoofdredacteur: Dr. G.M.N. Verschuuren.

Redactie: Drs. H.E.A. Dassen, Drs. T.J. Kortbeek, J.A.B. Verduijn.

Redactiesecretaresse: T. Habets-Older Juninck.

Redactiemedewerkers: A. de Kool, Drs. Chr. Titulaer, Dr. J. Willems.

Wetenschappelijke correspondenten: Ir. J.D. van der Baan, Dr. P.

Bentvelzen, Dr. W. Bijleveld, Dr. E. Dekker, Drs. C. Floor, Dr. L.A.M.

v.d. Heijden, Ir. F. Van Hulle, Dr. F.P. Israel, Prof. dr. H. Janssens,

Drs. J.A. Jasperse, Dr. D. De Keukeleire, Dr. F.W. van Leeuwen, Ir.

T. Luyendijk, Dr. C.M.E. Otten, Ir. A.K.S. Polderman, Dr. J.F.M.

Post, R.J. Querido, Dr. A.F.J. v. Raan, Dr. A.R. Ritsema, Ir. G.J.

Schiereck, Dr. M. Sluysen, Prof. dr. J.T.F. Zimmerman.

Redactie Adviesraad: Prof. dr. W. J. van Doorenmaalen, Prof. dr. W. Fiers, Prof. dr. J. H. Oort, Prof. dr. ir. A. Rörsch, Prof. dr. R. T. Van de Walle, Prof. dr. F. Van Noten.

De Redactie Adviesraad heeft de taak de redactie van Natuur en Techniek in algemene zin te adviseren en draagt geen verantwoordelijkheid voor afzonderlijke artikelen.

Grafische vormgeving: H. Beurskens, W. Keulers-v.d. Heuvel, M. Verreijt.

Druk: VALKENBURG offset, Echt (L.). Telefoon 04754-1223\*.

Redactie en Administratie zijn te bereiken op:

Voor Nederland: Postbus 415, 6200 AK Maastricht. Tel.: 043-254044\*.

Voor België: Tervurenlaan 32, 1040-Brussel. Tel.: 00-3143254044

**EURO**  
ARTIKEL



Artikelen met nevenstaand vignet resulteren uit het EURO-artikelen project, waarin NATUUR EN TECHNIEK samenwerkt met ENDEAVOUR (GB), LA RECHERCHE (F), DIE UMSCHAU (D), SCIENZA E TECNICA (I), TECHNOLOGY IRELAND (EI) en PERISCOPIO TIS EPISTIMIS (GR), met de steun van het Directoraat-generaal Informatiemarkt en Innovatie van de Commissie van de Europese Gemeenschappen.

Gehele of gedeeltelijke overname van artikelen en illustraties in deze uitgave (ook voor publikaties in het buitenland) mag uitsluitend geschieden met schriftelijke toestemming van de uitgever en de auteur(s).

Een uitgave van

ISSN 0028-1093



**Centrale uitgeverij en adviesbureau b.v.**



# INHOUD

BEZIENSWAARDIG	X
BOEKEN	X
AUTEURS	XI
HOOFDARTIKEL Voorlichting	XIII

## KATALYSE

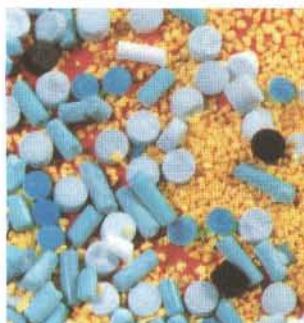
812-827

De snelle omweg

**H.S. van der Baan**

Katalyse heeft te maken met de snelheid van chemische reacties. Er zijn verschillende methoden om die sneller te laten verlopen, bijvoorbeeld door verhoging van de reactietemperatuur of, als men met een reactie tussen gassen te maken heeft, door verhoging van de druk. Ook kan men een reactie versnellen door aan het reactiemengsel een katalysator toe te voegen, een stof die de reactie versnelt maar zelf tijdens de reactie niet verandert.

De produktie van katalysatoren is een belangrijke tak van industrie met een jaaromzet van ruim 2 miljard dollar.



## MAGNEETVELDEN VAN DE ZON

828-839

Lichtend voorbeeld voor andere sterren

**R.G.M. Rutten en C.J. Schrijver**

De op het oog zo gladde Zon blijkt verrassende structuren te hebben. Magneetvelden bepalen de vorm van deze structuren en de processen die zich daarin afspelen. Men denkt dat magneetvelden worden veroorzaakt door de bewegingen van het gas in de Zon. Dank zij de nabijheid van deze ster kunnen de structuren op het oppervlak en in de ijle atmosfeer nauwkeurig bestudeerd worden, zodat verschijnselen die bij andere, zon-achtige sterren worden waargenomen, verklaard kunnen worden.



## VERZURENDE VENNEN

840-855

**J.A.A.R. Schuurkes, J.H.D. Vangenechten en R.S.E.W. Leuven**

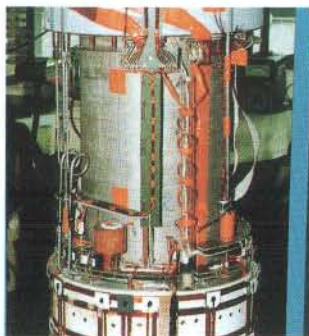
Grote delen van de wereld zijn in de ban van een milieuprobleem zonder grenzen. Duizenden meren en rivieren verzuren. We hoeven niet langer naar Scandinavië en Noord-Amerika te trekken om kraakheldere en visloze wateren te zien. De milieumoordenaar van deze eeuw slaat ook toe in onze directe omgeving. In Nederland en België zijn bijna alle geïsoleerde kalkarme oppervlaktewateren verzuurd. Veel karakteristieke plante- en diersoorten van deze milieus dreigen uit te sterven.





# NATUUR '85 & TECHNIEK

november/ 53<sup>e</sup> jaargang/1985



## SUPERGELEIDING

Nulpunt-technologie

**P.J.M. van Bentum**

Bijna 75 jaar na de ontdekking is de supergeleiding toe aan een tweede jeugd. Lange tijd waren het vooral de vaste-stoffysici die gefascineerd waren door de soms bizarre eigenschappen van metalen bij extreem lage temperaturen. Nu lijkt echter ook de industrie in de ban van de supergeleidende ring. Op tal van gebieden wordt serieus gewerkt aan een commerciële toepassing: van kernfusieonderzoek tot elektriciteitscentrales en van ziekenhuizen tot computercentra. Een blik in verleden en toekomst.

856-871

**EURO**  
ARTIKEL



## EROSIE

Verweer tegen verwerking

**Th.L. Verhaegen**

Een van de grootste bedreigingen voor de bodem en daarmee voor onze voedselvoorziening, is het optreden van erosie. Vaak wordt erosie door de mens veroorzaakt. Soms uit pure noodzaak, soms echter is erosie een (onvoorzien) neveneffect van bijvoorbeeld moderne landbouwmethoden. Tegenmaatregelen zijn dringend geboden. In het rijke deel van de wereld zijn deze vermoedelijk vrij eenvoudig. In de derde wereld, waar het probleem vaak veel nijpender is, zijn ingrijpende sociaal-economische veranderingen nodig om aan het erosieprobleem een einde te maken.

872-881

## ACTUEEL

882-884

De tumor van Ronald Reagan / Revolutionaire bunzenbrander / DNA zichtbaar: koud kunstje / Donder en astma / Bellen zonder handen

TEKST VAN TOEN  
Een 200-duims kijker

885

Een aanbieding  
voor de  
abonnees op

NATUUR  
& TECHNIEK

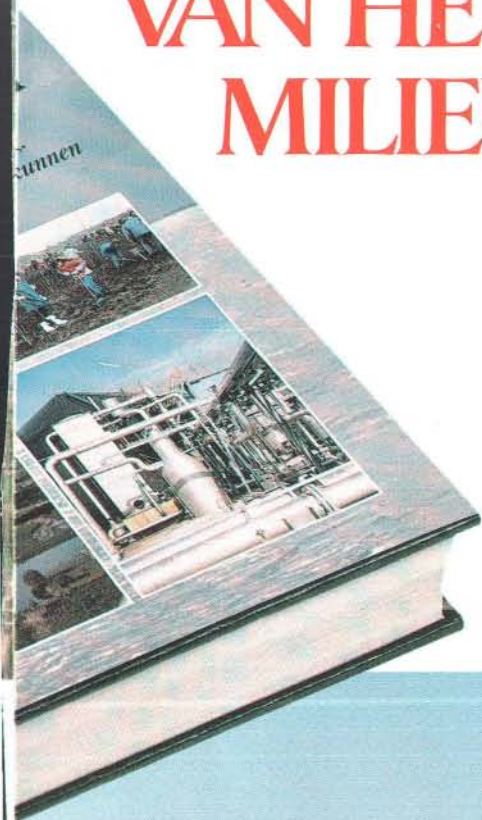




# DE LAROUSSE ENCYCLOPEDIE VAN HET MILIEU

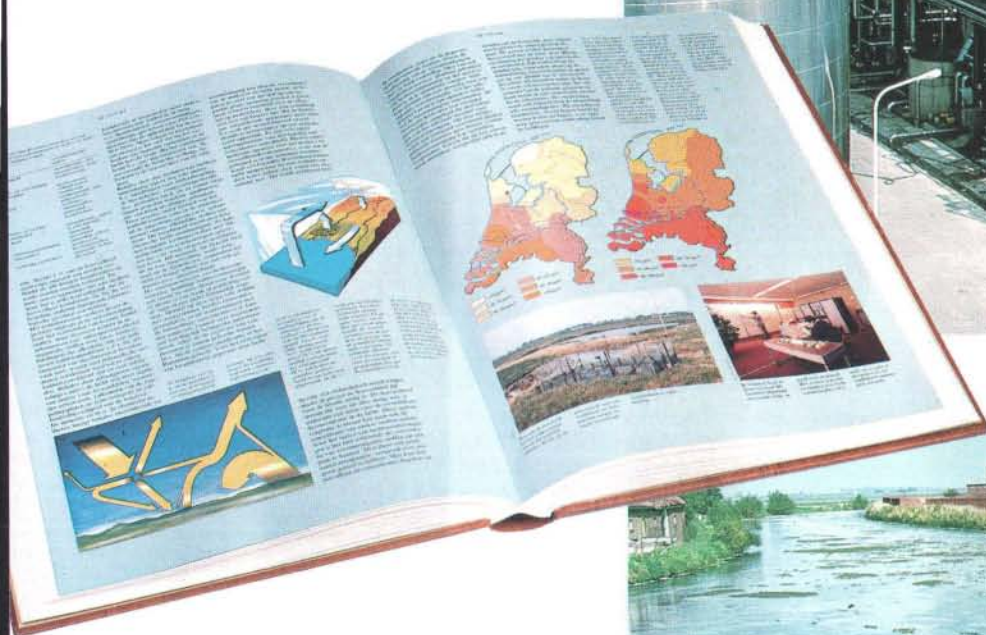
Gifbelten onder woonwijken, sterk verontreinigd water, gifneerslag uit de lucht, zure regen die onze bossen doet sterven, geluidshinder, olie-vlekken op zee en de rampzalige gevolgen. Daarvan kennis nemen alléén is niet genoeg!

Deze eerste grote Encyclopedie van het Milieu geeft u daarom de even belangwekkende als onmisbare achtergrond-informatie over oorzaken, gevolgen, wetgeving, maatregelen en oplossingen. In wetenschappelijk verantwoorde en toch prettig leesbare tekst. Met honderden illustraties in kleur en zwart/wit. Met grafieken, schema's en diagrammen. De Larousse Encyclopedie van het Milieu is dan ook een naslagwerk van levensbelang. Voor u, voor uw kinderen en hun kinderen. Want het milieu is de erfenis die we voor onze nakomelingen achterlaten.





Sedert de grote milieubewustwording, aanvankelijk overgewaaid uit de VS en daarna bij ons definitief doorgebroken na het Europese Natuurbeschermingsjaar 1970, zijn steeds bredere lagen van de bevolking getroffen door de snel voortschrijdende afbraak van natuur en milieu. Water-, lucht- en bodemverontreiniging hebben veel mensen geraakt en dit niet alleen als een vaag of een tastbaar gevoel van onbehagen, zoals dat bijv. wordt ervaren wanneer men in een aantrekkelijk landschap of in een fraai stedelijk decor met een stinkende waterloop wordt geconfronteerd. Steeds vaker worden ook door de alomtegenwoordige milieu-



Bij de foto's op de vorige pagina's:

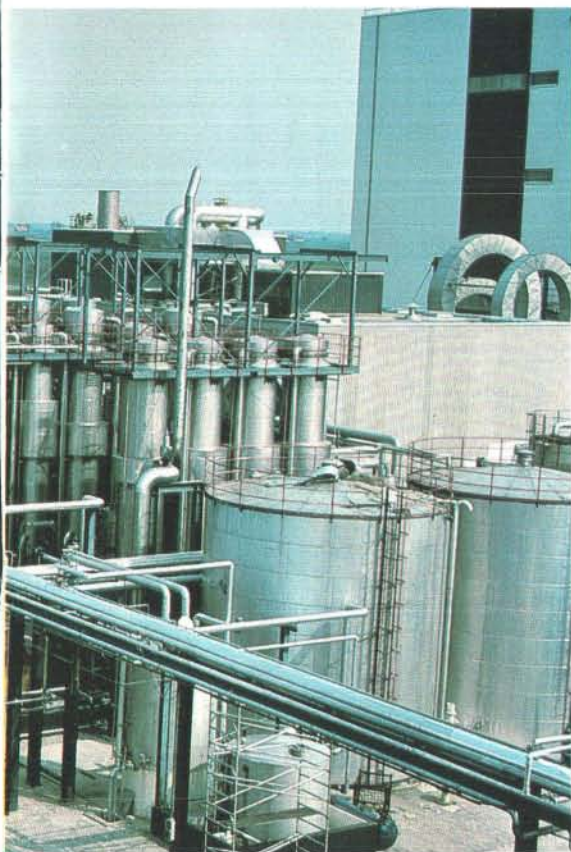
Linksboven: In het kader van geïntegreerde bestrijding van ziekten en plagen wordt gebruik gemaakt van de sluipwesp die parasiteert op de rups van de vruchtenbladroller.

Links: Sportvisserij, voor de miljoenen hengelaars een zinvolle vrijetijdsbesteding; anderen beschouwen het als onnodig dierenleed en bedreiging van de visstand.

Onder: Het polderlandschap ligt in gebieden waarvan de waterstand beheerst wordt door dijken en gemalen.







Linksonder: Door de Wet Verontreiniging Oppervlaktewateren is aan deze situatie in de jaren zeventig een einde gekomen. Toen werd het water flink verontreinigd door het afvalwater van de Groningse strokartonindustrie.

Links: De procesgang van in de aardappelmeelfabriek te Gasselternijveen is een van de schoolvoorbeelden van de mogelijkheden van schone technologie. Door wijzigingen in het vroegere productieproces kan men nu concurreren terwijl de vervuiling sterk teruggedrongen is.

Onder: Moelijk te verwerken afval leidt tot milieuproblemen. De kosten die nodig zijn om bijvoorbeeld verfresten te verwijderen of blik opnieuw als grondstof te gebruiken, zouden doorberekend moeten worden in de prijs van het produkt.



verontreiniging mensen getroffen in hun materieel belang en ook, wat in wezen nog veel erger is, in hun gezondheid.

Aan de milieuvervuiling in al haar facetten, aan de afbraak van natuur en landschap kan niet meer voorbijgegaan worden in de moderne westerse maatschappij. De strijd ertegen, aanvankelijk een zaak van natuurbeschermers, groencomité's en milieu-activisten, is evenzeer een taak geworden van overheidsfunctionarissen, beleidsmensen en politici.

Het is zonder meer duidelijk dat een werk als deze encyclopedie op dit ogenblik, midden jaren tachtig, op tijd komt. In het achter ons liggende decennium is immers een geheel nieuwe terminologie in gebruik gekomen, eerst in vakkringen, maar daarna ook in veel bredere kring. Radio, TV en de geschreven pers hebben de

milieutaal als het ware ingevoerd in de algemene omgangstaal.

Het is van belang dat de betrokken termen op gepaste en juiste wijze worden gebruikt. Dat geldt uiteraard voor de vakkringen, maar daarom niet minder voor de dagelijkse omgangstaal. Een correcte en dus efficiënte vaktaal is trouwens een vereiste, ook in alle andere disciplines. Elk milieu-onderwerp kunt u wel terugvinden in deze encyclopedie. Want dit naslagwerk is gericht op de dagelijkse praktijk.

De Larousse Encyclopedie van het Milieu geeft u niet alleen een inzicht in de vele milieuproblemen, maar laat ook het onderlinge verband zien. Dit naslagwerk van formaat houdt niet op bij signaleren, maar analyseert en geeft oplossingen aan. Objectief, maar volledig.

Deze encyclopedie heeft zeer actuele onderwerpen, zonder de geschiedenis te vergeten, want daarin liggen nu eenmaal vele oorzaken van de milieuproblematiek. Maar ook de problemen die in de toekomst urgent kunnen worden en oplossingen die in de toekomst gestalte kunnen krijgen worden uitgebreid behandeld, dank zij het aanboren van wetenschappelijke bronnen in de hele wereld.

Vooral ook voor gezinnen met opgroeiende kinderen, voor studerenden, voor onderwijsgeevenden en voor instellingen op het gebied van natuur en milieu, de mensen die daar werken en diegenen die beleidsmatig bij het milieu betrokken zijn.

Een naslagwerk van formaat  
in één compleet boek!

- Inleidend overzicht met problematiek en geschiedenis van milieuverontreiniging en milieubeheersing
- Alfabetisch gedeelte met meer dan 3500 trefwoorden: van Afvalverwerking tot Zure Regen
- Aanvullend register
- 576 pagina's belangwekkende informatie
- Wetenschappelijk verantwoord en toch prettig leesbaar geschreven tekst
- 200 medewerkers
- Meer dan 700 illustraties in kleur en 100 in zwart/wit
- Talloze verhelderende schema's, grafieken en diagrammen.



Een uitgave van

**NATUUR  
& TECHNIEK**

Op de Thermen –  
Stokstraat 24  
6211 GD MAASTRICHT





## AKTIE VOOR ONZE ABONNEES

Geldig tot 1 januari 1986

**Prijs in de boekhandel f 179,50 of 3450 F.**

**Voor abonnees op Natuur en Techniek f 149,50 of 2850 F.**



Boven: Het Waddengebied is een zeer waardevol natuurgebied. Hoe lang nog?

Onder: De Ooijpolder bij Nijmegen is een gevarieerd waterrijk gebied met enkele oude rivierstrangen. De polder is rijk aan (water)vogels en herbergt enkele bijzondere plantengemeenschappen. Plannen om het gebied te doorsnijden met een nieuw kanaal voor de scheepvaart (zesbaks-duwvaart) zijn voorlopig op de lange baan geschoven.

### Bestelling en betaling

Bij dit nummer is een antwoordkaart gevoegd waarmee u de Larousse Encyclopedie van het Milieu kunt bestellen, tegen de speciale prijs voor abonnees van f 149,50 of 2850 F (exclusief verzendkosten). Om u de aanschaf van deze fraaie uitgave te vergemakkelijken stellen wij u graag in de gelegenheid de prijs in twee termijnen te voldoen.

Na ontvangst van uw bestelkaart zenden wij u het boek binnen 10 dagen toe, met voor iedere termijn een voorbedrukte acceptgirokaart of overschrijvingsformulier. Wij verzoeken u vriendelijk de eerste termijn van f 79,75 of 1525 F te voldoen direct na ontvangst van het boek, de tweede termijn vóór 31 januari 1986. U kunt natuurlijk ook ineens betalen.





## Intermineraal

Zondag 1 december, van 10.00-17.00 uur, wordt in de Noordhal van de RAI te Amsterdam, deze mineralenshow weer gehouden. Naast kristalgroepen uit de meest beroemde vindplaatsen, is er ook ruw edelgesteente te vinden (met gereedschappen en grondstoffen voor de slijpers), boeken op dit gebied en materiaal om zelf sieraden te maken. Ook zijn er fossielen te zien die door de natuur in steen geconserveerd zijn. Inlichtingen: ☎ 08894-15273 (na 17.00 uur).

## Snellius II

In het Rijksmuseum van Geologie en Mineralogie te Leiden is tot en met 27 april een tentoonstelling te zien over de Snellius II expeditie, die van juli 1984 tot juni 1985 in Indonesië werd georganiseerd. Deze expeditie was een vervolg op een Nederlandse expeditie, die in 1929-1930 gehouden werd in het toenmalige Nederlands Oost-Indië en waarbij het marineschip Willibrord Snellius als expeditiechip werd gebruikt. In de tentoonstelling wordt een kort overzicht gegeven van de voorgeschiedenis van de Snellius II expeditie, waarbij o.a. materiaal wordt getoond, dat tijdens de eerste Snellius expeditie werd verzameld.

Elk van de vijf voor de expeditie gekozen onderzoeksthema's wordt nader uitgebeeld door foto's, dia's, kaarten en grafieken, die de werkzaamheden tijdens de expeditie laten zien en de gegevens, die daarmee direct verkregen werden. Naast materiaal dat door expeditieleden speciaal met het oog op deze tentoonstelling werd verzameld, zullen de resultaten worden getoond van het laboratoriumwerk dat aan boord

van de Tyro, het Nederlandse onderzoeksschip of in laboratoria aan de wal verkregen werden. Vanzelfsprekend gaat het daarbij slechts om de allereerste resultaten, omdat voor veel materiaal een tijdrovende bewerking en verdergaand onderzoek nodig is.

De tentoonstelling is een gezamenlijke tentoonstelling van de Rijksmusea van Geologie, Mineralogie en Natuurlijke Historie, uitgevoerd in samenwerking met de Nederlandse Raad voor Zeeonderzoek en instituten, die hebben deelgenomen aan deze expeditie.

De tentoonstelling is te bezichtigen in het museum aan de Hooglandse Kerkgracht 17, 2312 HS Leiden. Het museum is geopend maandag tot en met vrijdag van 10 tot 17 uur en zondag van 14 tot 17 uur, op feestdagen gesloten.

☎ 071-124741.

## Kometenkoorts

Langzamerhand begint het pandemonium rondom de komeet van Halley op gang te komen. Ook het planetarium te Brussel heeft een tentoonstelling over deze komeet. Deze toont in woord, beeld en aan de hand van maquettes wat een komeet is, hoe een komeet eruit ziet en wat we van de komeet Halley in het bijzonder zullen zien. De bezoeker krijgt een sterrenkaart en informatie aan de hand waarvan hij zelf in staat is de komeet aan de hemel te vinden. Veel aandacht gaat ook naar de zes ruimtetuigen die onderweg zijn naar de komeet. Over de uitrusting en opdracht van deze ruimtevaart wordt uitgebreide informatie gebracht. De tentoonstelling is tot 30 april te zien (toegang vrij), in het planetarium, Boechoutlaan 10, 1020 Brussel. Tevens zijn er nog planetariumvoorstellingen te zien op dinsdag, woensdag en donderdag. ☎ 02-478 9003.

## Hij komt!

**Pieter Van Dooren, Halley, Komeet op komst, Uitg. Lannoo, Tielt/Weesp, 1985, 80 pag., ISBN 90 209 1322 0. Prijs f 19,90 of 350 F.**

Je zou het bijna niet geloven, maar de komeet van Halley komt echt! Langzamerhand beginnen ook boeken over de komeet te verschijnen, naast de vele tijdschriftartikelen. Dit boek bundelt alle informatie nog eens samen: de geschiedenis van kometen, hun fysische en chemische achtergrond, de ruimtevaartuigen op weg naar Halley en kometen als bringers van leven en dood. Het gaat dus niet alleen over Halley. Het boek is geschreven voor de geïnteresseerde leek, die dus geen uitgebreide basiskennis nodig heeft om het te begrijpen. Het taalgebruik is vaak beeldend, soms een beetje theatraal en af en toe zelfs fors. De inhoud is zeer veelzijdig en goed gedocumenteerd. De illustraties zijn in zwart/wit, maar in ruime mate aanwezig. Alleen is het jammer dat het schilderij van de schilder Giotto zo klein is afgedrukt, dat de erop geschilderde komeet nauwelijks te herkennen is. Op de bladzijde ernaast zou plaats genoeg zijn geweest.

Eigenlijk zijn er zes ruimtevaartuigen op weg naar Giotto; de auteur zet er maar vier neer; al of niet terecht, want twee tuigen 'passeren' de komeet op miljoenen kilometers, zodat het nauwelijks een ontmoeting is. Het is geen encyclopedisch werk geworden, maar bevat toch erg veel wetenswaardigheden, waarin de rol van de mens zeker niet vergeten is. Gezien de prijs, zeker de moeite waard.

**J.A.B. Verduijn**



**Prof. drs. H.S. van der Baan** ('Katalyse') werd op 12 september 1908 in Groningen geboren. Daar studeerde hij in de periode 1936-1946 scheikunde. Daarna was hij 4 jaar werkzaam bij TNO, gevolgd door 15 jaar refining manager bij Shell te Pernis en Curaçao. Van 1965 tot 1983 was hij hoogleraar chemische technologie aan de TH Eindhoven.

**Drs. R.G.M. Rutten** ('Magneetvelden van de Zon') geboren op 19 januari 1959 te Eindhoven, studeerde wis-, natuur- en sterrenkunde te Utrecht van 1977 tot 1983. Hij is nu bezig met zijn promotie-onderzoek op de sterrenwacht 'Sonnenborgh' te Utrecht.

**Drs. C.J. Schrijver** ('Magneetvelden van de Zon') werd geboren op 19 augustus 1958 te Baarn. Hij studeerde wis-, natuur- en sterrenkunde te Utrecht van 1976 tot 1982. Op het Laboratorium voor Ruimte-onderzoek te Utrecht doet hij nu z'n promotieonderzoek.

**Drs. J.A.A.R. Schuurkes** ('Verzurende vennen') behaalde in 1982 zijn doctoraal examen biologie aan de Katholieke Universiteit te Nijmegen. Sinds 1983 is hij als aquatisch ecooloog verbonden aan het Laboratorium voor Aquatische Oecologie. Daar verricht hij, in opdracht van het Ministerie van V.R.O.M., onderzoek naar de effecten van zure, stikstof- en zwavelhoudende neerslag op het aquatische milieu.

**Dr. J.H.D. Vangenechten** ('Verzurende vennen') studeerde biologie aan de Universiteit van Antwerpen. In 1980 is hij gepromoveerd. Sinds 1981 is hij verbonden aan het SCK/CEN (Studie-Centrum voor Kernenergie) te Mol waar hij onderzoek doet aan de verzuring van oppervlaktewateren.

**Drs. R.S.E.W. Leuven** ('Verzurende vennen') studeerde biologie aan de Katholieke Universiteit te Nijmegen en de Landbouwhogeschool te Wageningen. Sinds 1983 verricht hij op het Laboratorium voor Aquatische Oecologie te Nijmegen, in opdracht van het Ministerie van V.R.O.M., onderzoek naar de effecten van zure neerslag op oppervlaktewateren.

**Dr. P.J.M. van Bentum** ('Supergeleiding') werd geboren te Driel op 3 oktober 1953. Van 1972 tot 1979 studeerde hij natuurkunde te Nijmegen, waar hij in 1985 promoveerde. Van 1983 tot 1985 was hij docent natuurkunde en samenleving. Na zijn promotie is hij universitair docent vaste-stoffysica geworden.

**Dr. Th.L. Verhaegen** ('Erosie') werd op 29 juli 1959 te Lubumbashi (Zaire) geboren. Hij studeerde van 1978 tot 1981 fysische geografie te Leuven, waar hij in 1985 promoveerde. Nu is hij leraar aan het Sint-Albertuscollege te Haasrode.

## Haan

*Toegegeven, mijn persoonlijke kennissenkring in het Zoetermeerse mausoleum voor de wetenschap is te klein dan dat ik een statistisch verantwoord beeld zou hebben van de herkomst van de ambtelijke bevolking daar – om van de politiek verantwoordelijken maar te zwijgen. Niettemin is mijn indruk, dat voor het overgrote deel van de beleidsvoorbereiders de agrarische kennis beperkt is tot hetgeen ze hebben waargenomen in de maand dat het blijvend vrije uitzicht van hun geschakelde landhuis in een buitenwijk van Pijnacker, Zoeterwoude of 's-Gravenzande werd gevormd door weiland. Waarmee niet alleen gezegd is dat zelfs departementale docenten en hoofddocenten niet ontkomen aan de activiteiten van hun intellectuele evenknieën in de wereld van bouw en afbraak, maar ook dat er wellicht niet bij allen een doorvoelde kennis bestaat van alles wat groeit en bloeit onder humaan beheer. Een nascholingscursus op Teleacniveau kan misschien wonderen doen.*

*De haan, dames en heren, legt geen eieren. Het lawaai dat dit dier voortbrengt duidt niet aan dat er weer een potentiële halve uitsmijter op aarde is aangekomen, maar berust uitsluitend op het misverstand dat het de zon te voorschijn zou roepen. Er is een weliswaar verwant, maar op enkele essentiële punten van de haan verschillend beest, de hen, die de eieren voortbrengt.*

*Aangezien velen graag een eitje tot zich nemen is het economisch nut van de haan in dit opzicht niet meteen zichtbaar. Het is gebruikelijk het dier met een ander nut op te zadelen, dat hem een week of zes na de geboorte in onderdelen in een pan doet belanden.*

*Maar hiermee moet men toch voorzichtig zijn. Op de een of ander manier heeft die haan toch wat met die eieren te maken. Wat precies zal in de volgende les worden behandeld – het desbetreffende tekstboek is verkrijgbaar tegen overmaking van f 49,50 op mijn girorekening – maar we kunnen nu wel vast verklappen dat als er geen hanen meer zijn de produktie van eieren nogal tamelijk snel afgelopen zal wezen. Die van hanen trouwens ook.*

*Met wetenschap en technologie is het net zoiets als met die hanen en hennen en eieren. Waar het binnen het beleid allemaal om gaat zijn de eieren, liefst van goud. Natuurlijk, er*



wordt ook wel wat gedaan aan musicologie en kunstgeschiedenis, zelfs sociale wetenschappen mogen nog wel, maar er is een kennelijk niet te onderdrukken neiging musicologen en kunsthistorici te zien als de mensen die de broodnodige recreatie-op-niveau moeten leveren aan de nijvere technologen; en van de sociale wetenschappen toch vooral te verwachten dat ze de beleidsvoerders vertellen wat er moet gebeuren om de economisch aantrekkelijke produkten door het publiek aanvaard te krijgen. Ook de cultuur moet in toenemende mate z'n economisch nut (marktwaaarde) eerst maar eens bewijzen.

Geleidelijk aan is men ook gaan zien dat de zon ook opkomt als de haan niet kraait ofwel, dat onderzoekers niet zozeer de natuur maken en dat de natuur toch z'n gang wel gaat. Bovendien bleek veel wetenschap nou wel aardig te zijn, maar dat kostte alleen maar geld (net als die haan) en het was toch ten slotte de technologie die de centen moest binnenbrengen.

(Als u belooft het niet verder te vertellen wil ik u een geheim verklappen: de technologie brengt helemaal de centen niet binnen. De Concorde was technologisch gezien een superbe stuk speelgoed, maar hij heeft geen stuiver opgebracht. De centen komen via de managers en de handige verkopers die misschien nauwelijks tot tien kunnen tellen, maar die wel kans zien u en mij te laten geloven dat ons geregelde gevoel van onbehagen wordt veroorzaakt doordat we geen tandpasta met blauwe strepen gebruiken. Maar vertel het niet verder, want je kunt er vergif op innemen dat het dan ook gedaan is met de ingenieurs en dat kan de bedoeling niet zijn.)

Het probleem is dat wat elke boer weet in verband met hanen, namelijk dat hun directe opbrengst klein is, maar dat je ze toch niet kunt missen, in het analoge geval van de wetenschap (en de technologie) niet bij alle beleidsmakers duidelijk schijnt te zijn. Nu moet ik toegeven, dat het bij de hanen en de eieren wat eenvoudiger ligt dan bij de wetenschap en de economie. Zoals zo vaak blijkt het scheermes van Occam wat te zijn gesleten en is het eenvoudigste antwoord niet het beste.

Maar één ding staat als een paal boven water. Als het wetenschappelijke onderzoek wordt beperkt tot het vinden van antwoorden op de vragen van vandaag, op de problemen die de technologen nog niet hebben weten op

te lossen, dan is de huidige technologie de eindfase van de ontwikkeling. Dan komt er hierna niets werkelijk nieuws meer waarmee onze kinderen of kleinkinderen vergeefs kunnen proberen hun gevoel van onbehagen te bestrijden in het belang van de economie. U mag zelf uitmaken of dit doem- dan wel heilsdenken is.

Voorlopig ga ik er maar even van uit dat de doelstellingen van economische krachtvorming terecht zijn. (Ik wil die overigens los zien van de vraag of dat ook de meestal in één adem genoemde werkgelegenheid zal meebrengen en maar even aannemen dat er wel krachten zullen zijn in de richting van een aanvaardbare verdeling van een dan sterk toegenomen nationaal produkt.) Dan is de tendens in het wetenschappelijk onderzoek fnuikend. Volgens het wetenschapsbudget 1974 werd toen 25 procent van de totale onderzoeksinspanning aan universiteiten gedaan, 21 procent in andere (in het algemeen meer toegepaste en beleidsgerichte) overheidsinstellingen en 54 procent in bedrijven. Het overheidsaandeel is in 1986 met 2 procent gedaald naar 44, dat van beleids-ondersteunend en ander toegepast onderzoek is gestegen van 21 naar ruim 25 procent, en het aandeel van de universiteiten en hogescholen is gedaald van 25 naar 18,6 procent.

Het aandeel van universiteiten en hogescholen is dus met ruim 20 procent van het oorspronkelijke aandeel verminderd. Achter die cijfers gaat dan nog schuil, dat ook binnen universiteiten en hogescholen een sterke druk wordt uitgeoefend om toch vooral 'bruikbare' resultaten te leveren, dat dit gebeurt in financieringsstructuren die erop gericht zijn alle onzekerheid (dus alle verrassingen) uit te bannen en dat ten slotte het leeuwedeel van het onderzoek wordt overgelaten aan mensen die het vak nog moeten leren.

Het ziet ernaar uit dat de tandpasta met paarse strepen voor onze kleinkinderen uit Taiwan of zo zal komen.

A. de Kool

# Voorlichting

---

Omstreeks de jaarwisseling zal de Stichting Wetenschap, Technologie en Maatschappij worden opgericht. De berichten daarover zijn met wat gemengde gevoelens ontvangen, wat waarschijnlijk vooral is veroorzaakt door de wat gemengde doelstellingen waarmee de voorgeschiedenis is belast. De algemene doelstelling is publieksvoorlichting over vorderingen in wetenschap en technologie. Op zich is dat zeker een doelstelling waar de meesten vrede mee kunnen hebben of zelfs gelukkig mee zijn.

De vermenging treedt op bij de toelichting over de doeleinden van de doelstelling. Enerzijds wordt daarbij objectiviteit hoog in het vaandel geschreven. Die objectiviteit moet worden gegarandeerd door de activiteit niet onder te brengen in een overheidsinstelling, maar in een weliswaar door de overheid betaalde, maar verder onafhankelijke stichting. Daar kennen we talloze voorbeelden van, waarvan het merendeel ook werkelijk onafhankelijk is.

Anderzijds heeft de voorlichting tot doel nieuwe wetenschappelijke en technologische ontwikkelingen (zoals dat heet) van een groot maatschappelijk draagvlak te voorzien. Daarbij wordt in sommige zinsneden gesuggereerd dat die technologie vormen zou moeten krijgen die op een goede ontvangst bij de bevolking kan rekenen. Het is niet meteen duidelijk hoe de stichting daarin kan functioneren, want er zijn geen mogelijkheden ingebouwd om onderzoekers voor te lichten over het publiek, alleen maar voor werk in de omgekeerde richting. In andere zinsneden wordt tamelijk duidelijk gezegd – en dat ligt ook een beetje in de lijn van de deelneming van het Ministerie van Economische Zaken in de stichting – dat het de bedoeling is voor de (gegeven) ontwikkeling steun bij de bevolking te krijgen. Dat laat zich al wat moeilijker rijmen met de objectiviteit die trouwens niet alleen een nobel streven inhoudt, maar ook een voorwaarde is voor de geloofwaardigheid van de stichting. Zo'n stichting hoeft maar één keer de verdenking van eenzijdige berichtgeving op zich te laden, om op zijn minst voor zeer lange tijd als onbetrouwbaar te gelden. Zoals een Amerikaanse journalist eens zei naar aanleiding van het wantrouwen bij de bevolking ten aanzien van overheidsvoorlichting over de veiligheid van kernenergie: "Als een kat één keer zijn poten heeft gebrand aan een elektrische plaat zal hij die plaat altijd blijven mijden, ook al is die niet heet."

Met een vaste staf van tien personen in de begintijd moet de stichting zeker in staat zijn tot een eigen programma van flinke omvang. De begroting van 6 miljoen gulden laat dan overigens nog veel ruimte over voor het steunen van andere activiteiten en dat is dan ook nadrukkelijk een deel van het programma. Geen eenvoudige opgave alweer. Voorlichtingsactiviteiten worden vaak ondernomen om een belang te dienen, een gelijk aanvaard te krijgen. Is steun aan met elkaar strijdige belangen hetzelfde als objectiviteit?

Er zijn in Nederland nogal wat instellingen die, op verschillende gebieden en uiteenlopend niveau, al jaren professioneel met dat bijltje hakken. Het is te hopen dat de nieuwe stichting met die instellingen zal gaan samenwerken.



**H.S. van der Baan**

*Afdeling der Scheikundige Technologie  
Technische Hogeschool Eindhoven*

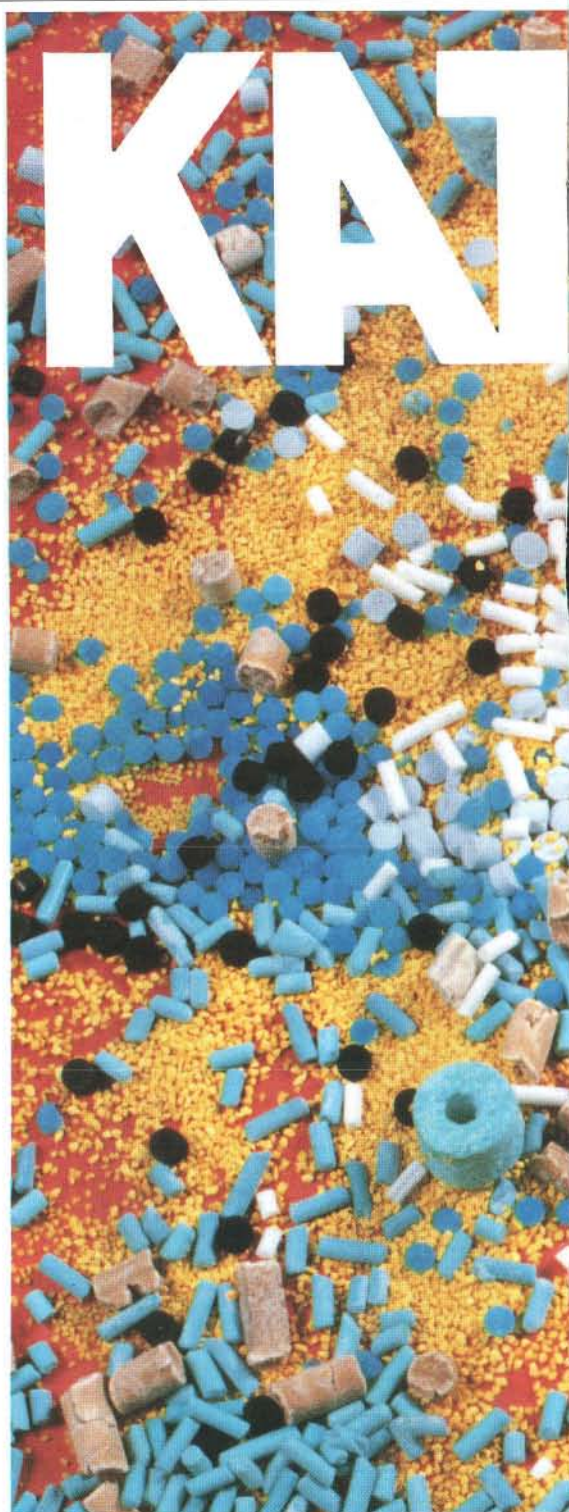
## De snelle omweg

Katalyse heeft te maken met de snelheid van chemische reacties. Er zijn verschillende methoden om die sneller te laten verlopen.

Bijvoorbeeld door verhoging van de reactietemperatuur of, als men met een reactie tussen gasen te maken heeft, door verhoging van de druk. Ook kan men een reactie versnellen door aan het reactiemengsel een katalysator toe te voegen, een stof die de reactie versnelt maar zelf tijdens de reactie niet verandert.

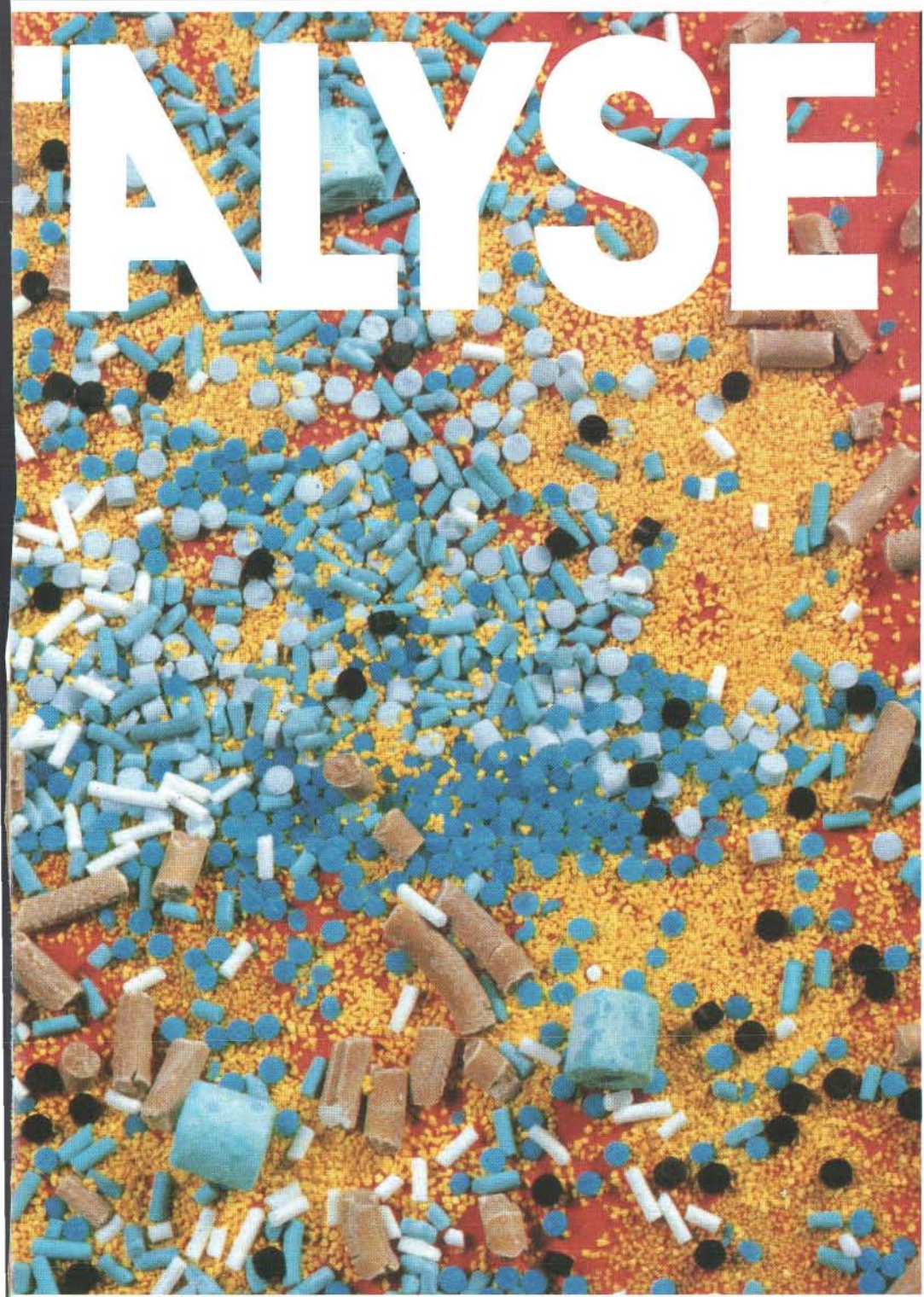
Van de totale industriële chemische wereldproductie wordt naar schatting 10 tot 15 procent verkregen met behulp van katalysatoren. De productie van katalysatoren is dan ook op zichzelf al een belangrijke tak van industrie geworden. De jaaromzet van die industrie bedraagt momenteel ruim 2 miljard dollar, waarvan een achtste besteedt wordt aan de productie van enzymen, de katalysatoren van biochemische processen.

Katalysatormaterialen kunnen al naar gelang hun samenstelling, allerlei kleuren, vormen en eigenschappen hebben. Van poeder tot pellet (brokjes, korrels, staafjes); van zwart tot wit; van compact tot poreus etc. etc. . . . De foto toont een willekeurig bijeengeraapte verzameling katalysatoren, waaronder zowel industriële als experimentele.





# ALYSE





We zullen ons in dit artikel voornamelijk beperken tot de katalyse met behulp van vaste anorganische stoffen. Omdat de reactanten (de stoffen die met elkaar reageren) in het algemeen vloeistoffen of gassen zijn, duidt men dit gebied van de katalyse vaak aan met 'heterogene katalyse'. Andere vormen, waaronder de biokatalyse blijven dus buiten beschouwing.

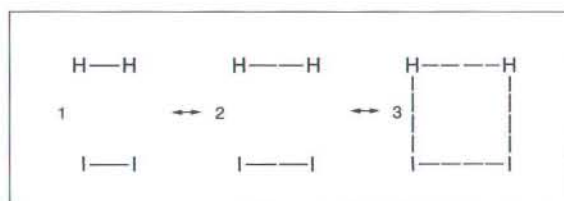
Een van de eerste industrieel belangrijke processen waarbij een vaste anorganische katalysator werd gebruikt, was het 'contact-proces' voor de oxydatie van zwaveldioxide naar zwaveltrioxide, een reactiestap in het bereidingsproces van zwavelzuur. Uit diezelfde periode (1905-1915) stammen nog een aantal katalytische processen waarvan die voor de bereiding van ammoniak en van salpeterzuur de basis zijn geweest voor de produktie van kunstmest en dus voor de moderne landbouw.

Een tweede belangrijke periode in de ontwikkeling van de industriële katalyse begon in de jaren dertig toen de produktie van plastics tot ontwikkeling kwam. De katalyse heeft ook een belangrijke rol gespeeld bij de produktie van motorbrandstoffen die de strijdende partijen in de Tweede Wereldoorlog gebruikten. Aan Duitse zijde was de katalyse voornamelijk gericht op de produktie van meer benzine en dieselolie. Bij de geallieerden, die over voldoende aardolie beschikten, ging het voornamelijk om de produktie van veel benzine van hoge kwaliteit.

In de periode na de Tweede Wereldoorlog heeft de katalyse zich sterk ontwikkeld, zowel op het gebied van steeds complexere reacties als op het terrein van het inzicht in de fundamentele processen die aan de katalyse ten grondslag liggen.

### De snelheid van een chemische reactie

Wanneer een chemische reactie tussen twee stoffen A en B (de reactanten) plaatsvindt, verdwijnen deze uitgangsstoffen en worden er een of meer reactieprodukten, bijvoorbeeld C en D, gevormd. Hiertoe is het nodig dat bepaalde bindingen tussen atomen van de molekulen A en B worden verbroken en nieuwe bindingen tussen atomen van A en atomen van B worden gevormd. Dit is een geleidelijk proces; voor de reactie tussen jodium en waterstof in de gasfase is dit weergegeven in figuur 1. Er

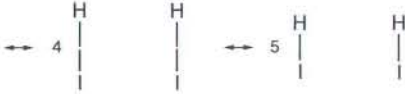


ontstaat halverwege op het reactiepad van uitgangsstoffen naar produkten een *overgangstoestand* waarin de bindingen in de reactanten nog niet geheel zijn verbroken, maar nieuwe bindingen in de produkten reeds in beginsel gevormd zijn.

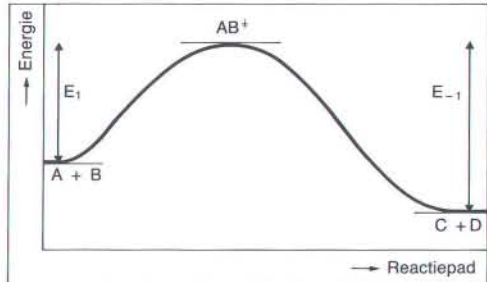
Omdat voor het losser maken van bindingen energie nodig is (de zgn. *activeringsenergie*) heeft de overgangstoestand, meestal het geactiveerde complex genoemd en met  $AB^\ddagger$  aangeduid, een hogere energie-inhoud dan gemiddeld de uitgangsmolekulen hebben (zie figuur 2).

Dat er ondanks deze energiebarrière toch een reactie kan optreden, ligt aan de bepaling 'gemiddeld' in de vorige zin. Hoewel er altijd wel enige molekulen zijn die voldoende energie bezitten om het geactiveerde complex te vormen, kan het aantal zo gering zijn dat zelfs op langere termijn geen meetbare reactie optreedt. Wanneer men echter de temperatuur





Links: Fig. 1. Schema van de reactie tussen waterstof en jodium:  $H_2 + I_2 \rightleftharpoons 2HI$ . De atomen van twee-atomige moleculen zoals  $H_2$  en  $I_2$  (1) vibreren in de richting tussen beide atomen. Door toevoeging van energie wordt de amplitude groter (2). Bij toename van de amplitude neemt de bindingssterkte tussen de atomen af en bestaat de mogelijkheid dat bindingen met andere atomen beginnen te ontstaan (3). Het zo gevormde complex, het *geactiveerde complex*, kan nu in de oorspronkelijke moleculen (2) of in de nieuwe verbindingen (4) uiteenvallen.



Boven: Fig. 2. Energieschema voor de reactie  $A + B \rightleftharpoons C + D$ .  $E_1$  is de *activeringsenergie* die moet worden opgebracht om uit A en B het geactiveerde complex  $AB^+$  te maken.  $E_{-1}$  is de *activeringsenergie* voor de teruggaan-de reactie. Natuurlijk geldt  $AB^+ \rightleftharpoons CD^+$ .

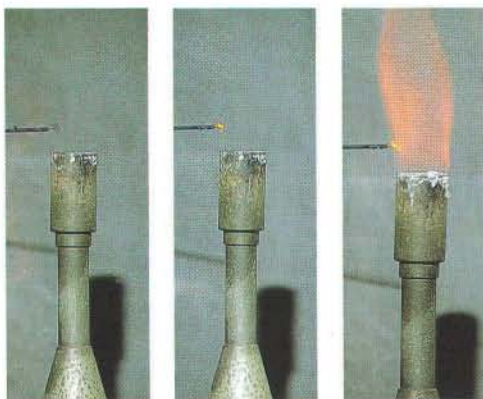
Links: Silhouet van een gasfabriek in de jaren 50. Uit co-kes en stoom werd 'stadsgas' bereid. De zgn. zuiver-kisten met ijzeraarde op de voorgrond haalden zwavel-waterstof en cyaanverbindingen uit het lichtgas.

verhoogt zal de fractie van de reagerende moleculen die voldoende energie hebben om het geactiveerde complex te kunnen vormen, toenemen. Hierdoor zal de reactie dan op gang kunnen komen.

Er is nog een belangrijke tweede factor die de snelheid van een chemische reactie tussen twee reactanten beïnvloedt. Dit houdt verband met de triviale voorwaarde dat beide reactanten elkaar in de ruimte in de juiste *configuratie* (in een goede positie ten opzichte van elkaar) moeten ontmoeten om een reactie te kunnen aangaan. Een ontmoeting waarbij de reactieve centra van de twee reagerende moleculen niet met elkaar in contact komen zal geen reactie ten gevolge hebben. Verder zal het totale aantal botsingen dat tussen de moleculen van beide reactanten optreedt evenredig zijn met de aantallen van beide reagerende moleculen die in het reactiemengsel aanwezig zijn.

### Met katalyse gaat het vlugger

In het verleden kwam het gas niet uit Slochteren maar van de gasfabriek. Daar werd uit gloeiende cokes en stoom het stadsgas gemaakt, een mengsel van voornamelijk waterstof en koolstofmonoxide. Toen had men ook een gasaansteker die bestond uit een stangetje met aan het uiteinde een spiraaltje van heel dun platinadraad. Als dit in het uitstromende gasmengsel werd gestoken begon het langzaam te gloeien waardoor het gasmengsel ontbrandde (zie de foto's op de volgende pagina). Hier zien we dat een katalysator, in dit geval dus platinametaal, in staat is waterstof en zuurstof bij kamertemperatuur met elkaar te laten reageren. Zonder katalysator is een mengsel van deze gassen bij kamertemperatuur stabiel, omdat vrijwel nooit een reactantenpaar voldoende energie bezit om het geactiveerde complex te vormen, dat voor de reactie nodig is.



Links: Een katalytische aansteker voor stadsgas. Een platina spiraaltje wordt in het uitstromende gas gestoken. Het spiraaltje begint dan te gloeien door de warmte die vrijkomt bij de reactie tussen de waterstof uit het stadsgas en de zuurstof uit de lucht:  $H_2 + \frac{1}{2}O_2 \rightarrow H_2O$ . De gasvlam wordt door de gloeiende platina-spiraal ontstoken. In dit geval is de kleurloze waterstofvlam zichtbaar gemaakt door een hoeveelheid van een calciumzout op de rand van de brander aan te brengen.

Rechts: Fig. 3. Vulkaancurve voor de hydrogenering van etheen tot ethaan,  $C_2H_4 + H_2 \rightarrow C_2H_6$  over de metalen koper (Cu), nikkel (Ni), cobalt (Co), ijzer (Fe) en chroom (Cr). Het maximum in de curve ontstaat doordat een te geringe bindingssterkte de reactant niet voldoende actief maakt terwijl een te grote bindingssterkte de reactant zo sterk bindt dat geen andere reactie meer mogelijk is.

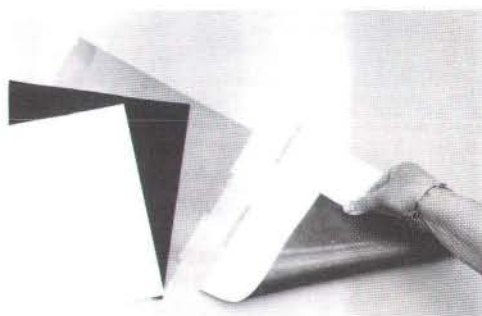
### Het bijzondere van een oppervlak

Wanneer we nu ons gasaanstekereperiment nog wat nader beschouwen, kunnen we concluderen dat het katalytische effect van het platina voornamelijk in het oppervlak huist: de katalytische werking is zo snel dat diffusie van reactanten in het platinametaal bij de reactie niet plaatsvindt. Nu weten we dat vaste stoffen 'vast' zijn door de grote krachten die er tussen de bouwstenen heersen. Deze bouwstenen zijn in het geval van anorganische stoffen meestal atomen of ionen. Wanneer nu een stuk van een dergelijke vaste stof doorgebroken wordt, worden dus langs het breukvlak de bindingen tussen de atomen of ionen verbroken. Deze aan beide grensvlakken gelegen deeltjes kunnen met geschikte andere stoffen bindingen aangaan. Deze reactieve eigenschappen van oppervlakte-atomen of -ionen van vaste stoffen is de basis van de katalyse door anorganische vaste stoffen.

Men onderscheidt twee soorten van binding van stoffen aan een vast oppervlak: de *fysische adsorptie* en de 'chemische' adsorptie, de *chemisorptie*. De fysische adsorptie berust op de binding tussen *molekulen* en is dus te vergelijken met een verschijnsel als de condensatie van een damp tot een vloeistof. Bij de chemisorptie treden bindingen op die veel overeenkomst vertonen met de bindingen tussen de *atomen* van een molekuul. Zo is het warmte-effect bij chemisorptie van dezelfde grootte als bij een overeenkomstige chemische reactie. De chemisorptie kan dan ook vrij sterk ingrijpen in de onderlinge samenhang tussen de atomen van

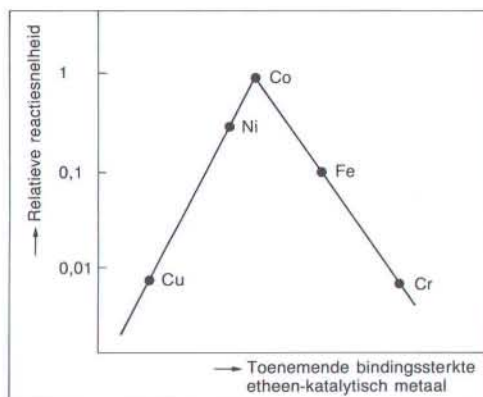
een geadsorbeerde molekuul en op die wijze de benodigde 'ontbinding' bewerkstelligen. (Het Griekse woord 'katalyse' betekent dan ook 'ontbinding'.)

Om katalytische eigenschappen te hebben moet de chemisorptie van de reactanten niet te sterk en niet te zwak zijn. Indien deze te sterk is zullen de gechemisorbeerde reactanten zo sterk op het oppervlak gebonden zijn dat zij geen neiging meer hebben om te reageren. Als echter de chemisorptie te zwak is zal er nauwelijks sprake zijn van 'ontbinding', zodat er geen katalytisch effect optreedt (zie fig. 3).



De brandstofcel (rechts) verbrandt waterstof tot water (zie fig. 4) en kan zo elektrische energie leveren. Dat kan alleen rendabel gebeuren als de reactie goed gekatalyseerd verloopt. De elektrodes van de cel zijn gelaagd (foto boven). In de zwarte (katalytische) laag worden platina-op-kool katalysatoren gebruikt. De keuze van de kool en de opbrengtechniek van het platina is essentieel voor een goede activiteit en stabiliteit van katalysator en cel.

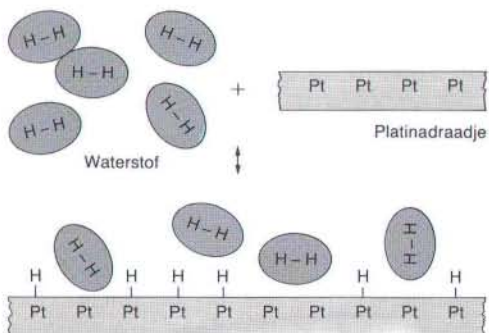




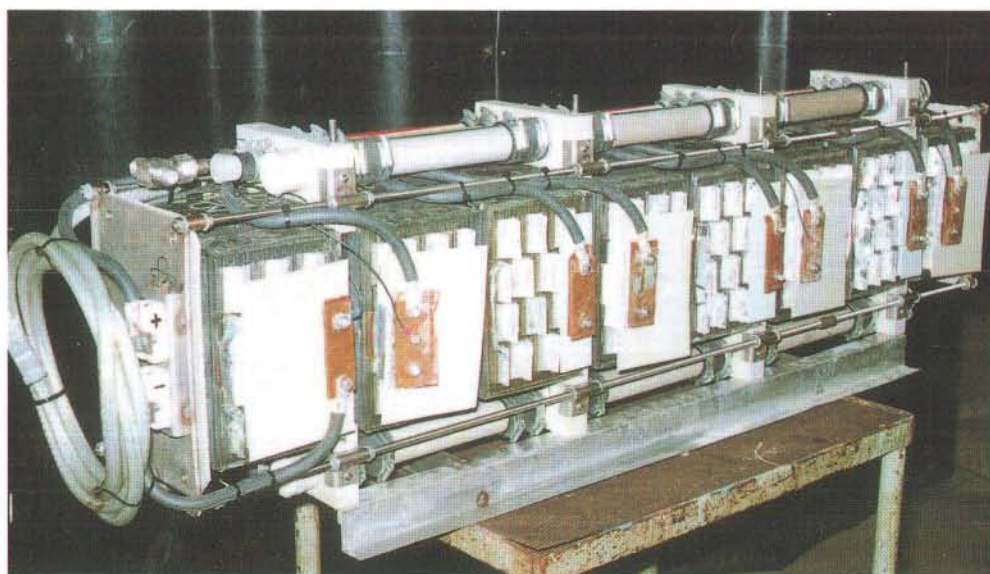
### De essentie van katalyse

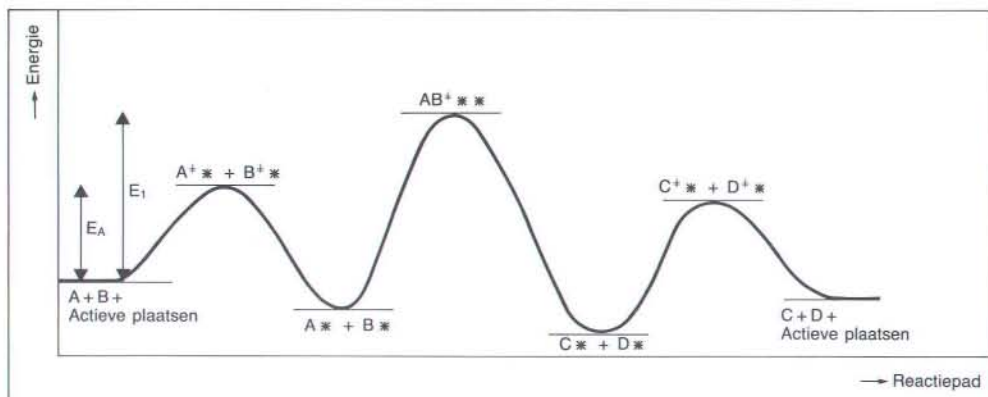
Door de rechtstreekse interactie tussen de reactanten te vervangen door een reactie, waarbij eerst de reactanten op de katalysator adsorberen, waarna de reactie plaatsvindt tussen deze geadsorbeerde stoffen, kan een indrukwekkende versnelling van de chemische omzetting worden bereikt. Voordat we hier nader op in gaan, willen we de werking van de oude gasaansteker interpreteren met behulp van het nu verkregen inzicht (zie fig. 4).

De waterstof uit het stadsgas adsorbeert op het platina-oppervlak evenals de zuurstof uit



Links: Fig. 4. De door platina (Pt) gekatalyseerde reactie tussen waterstof en zuurstof. In de tekening is alleen de 'katalyse' (=ontbinding) van waterstof in detail weergegeven.





de lucht. Bij de waterstofadsorptie worden de bindingen tussen de beide waterstofatomen van het waterstofmolecuul verbroken en vervangen door bindingen met platina-atomen van het metaaloppervlak. De zuurstofmoleculen uit de lucht reageren gedeeltelijk op dezelfde wijze. De zo ontstane, nogal beweeglijke waterstof- en zuurstofatomen kunnen op het platina-oppervlak gemakkelijk met elkaar in contact komen en reageren tot water. De vrijkomende energie verwarmt het platina zo sterk dat het begint te gloeien en de rol van een vonk of een vlam overneemt.

De invloed van de katalysator op de reactiesnelheid kan nu beter begrepen worden. In plaats van het enkele maximum in figuur 2, zien we voor een gekatalyseerde reactie (fig. 5) drie maxima verschijnen, die overeenkomen met de activeringsenergieën voor respectievelijk de chemisorptie, de chemische reactie en de desorptie van de reactieproducten.

Het essentiële van de katalyse is nu dat de activeringsenergieën behorende bij de drie maxima alle belangrijk lager zijn dan de activeringsenergie voor de niet-gekatalyseerde reactie. De reactiesnelheid neemt dus toe.

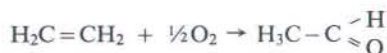
Een tweede gunstige invloed op de reactiesnelheid ligt in het richtende effect dat op een goede katalysator vaak plaatsvindt. Hierdoor naderen de geadsorbeerde reactanten elkaar in de voor de reactie gunstige configuratie. Deze voordelige effecten zijn ook wel nodig, omdat katalyse als nadeel heeft dat niet alle moleculen direct met elkaar kunnen reageren, maar alleen die welke op een bepaald moment aan de katalysator zijn gehecht.

### Katalyse ook selectief

De verbranding van waterstof tot water is een weinig opzienbarende en commercieel niet erg aantrekkelijke reactie, tenzij men er in slaagt deze reactie gekatalyseerd zo te laten verlopen dat van de vrijkomende energie een groot deel in de vorm van elektrische energie ter beschikking komt. Aan de ontwikkeling van dergelijke katalytische systemen, ofwel brandstofcellen, wordt sinds de energiecrisis zeer veel aandacht besteed.

Ook andere gekatalyseerde oxydatiereacties zijn industrieel gezien van groot belang. *Onge-katalyseerd* zal de oxydatie van bijvoorbeeld alkenen met luchtzuurstof slechts de economisch weinig aantrekkelijke producten water en koolstofdioxide opleveren. Met een geschikte *katalysator* echter kan de gewenste reactie bij een relatief lage temperatuur (meestal beneden 300°C) verlopen. Deze temperatuur is zo laag dat de hoge activeringsenergie voor de ongekatalyseerde verbranding vrijwel nooit overwonnen kan worden.

Uitgaande van etheen ( $\text{H}_2\text{C}=\text{CH}_2$ ), kan men met behulp van luchtzuurstof, afhankelijk van de gekozen katalysator een aantal industrieel aantrekkelijke producten verkrijgen. Zo wordt er bijvoorbeeld acetaldehyde gevormd:

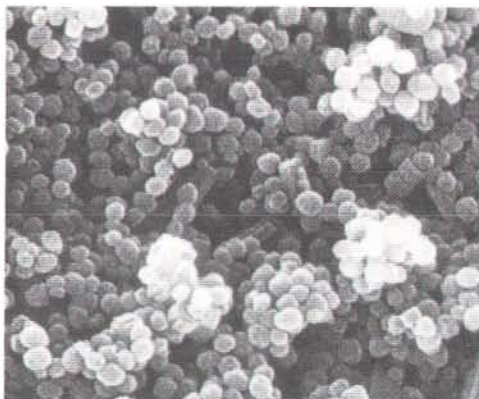


met behulp van een katalysator bestaande uit palladiumchloride ( $\text{PdCl}_2$ ) aangebracht op vanadiumpentoxide ( $\text{V}_2\text{O}_5$ ), bij een reactie-

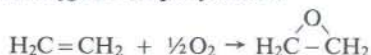


Links: Fig. 5. Een energieschema voor de gekatalyseerde reactie  $A + B \rightleftharpoons C + D$  met behulp van actieve plaatsen (\*) op een katalysator. De adsorptie van de reactanten A en B heeft een activeringsenergie  $E_A$ . De activeringsenergie voor de totale reactie is meestal het verschil  $E_1$  tussen de energie van het geadsorbeerde geactiveerde complex  $AB^+ *$ , en de energie van de uitgangsstoffen. Deze activeringsenergie is belangrijk lager dan die voor de niet gekatalyseerde reactie (figuur 2).

Rechts: Bij het maken van een katalysator is het de kunst een zo groot mogelijk werkzaam oppervlak te krijgen en te houden. Poreuze bolletjes als dragermateriaal voor de eigenlijke katalysator betekenden een grote stap vooruit. De foto toont het inwendige van een katalysator-bolletje, 10000 x vergroot.



temperatuur van 130°C. Neemt men echter fijn verdeeld zilver, aangebracht op alumina dan verkrijgt men epoxyethaan:

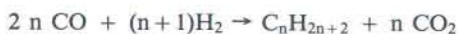
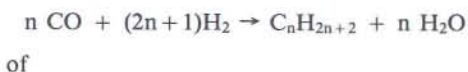


bij een reactietemperatuur van 250°C. Epoxyethaan is onder andere de grondstof voor glycol ( $HOH_2C-CH_2OH$ ) dat als antivries, als oplosmiddel en als grondstof voor de polyestervezel in zeer grote hoeveelheden wordt geproduceerd.

Deze katalytische reactie heeft echter slechts een selectiviteit van 85 procent. De rest wordt omgezet in koolstofdioxide en water. Dit komt omdat op deze zilverkatalysator zuurstof op twee manieren kan worden geadsorbeerd: als een zuurstofmolekuul ( $O_2$ ) dat met een van beide zuurstofatomen aan het zilver is gebonden, of als losse zuurstofatomen. Het is gebleken dat de laatste soort zuurstof de ongewenste oxydatie tot koolstofdioxide en water veroorzaakt.

### Fischer-Tropsch, een flexibel proces

De complexiteit van sommige katalytische reacties wordt heel goed geïllustreerd door het Fischer-Tropsch-proces. Hierin wordt uit koolstofmonoxide en waterstof een mengsel van koolwaterstoffen gemaakt volgens:



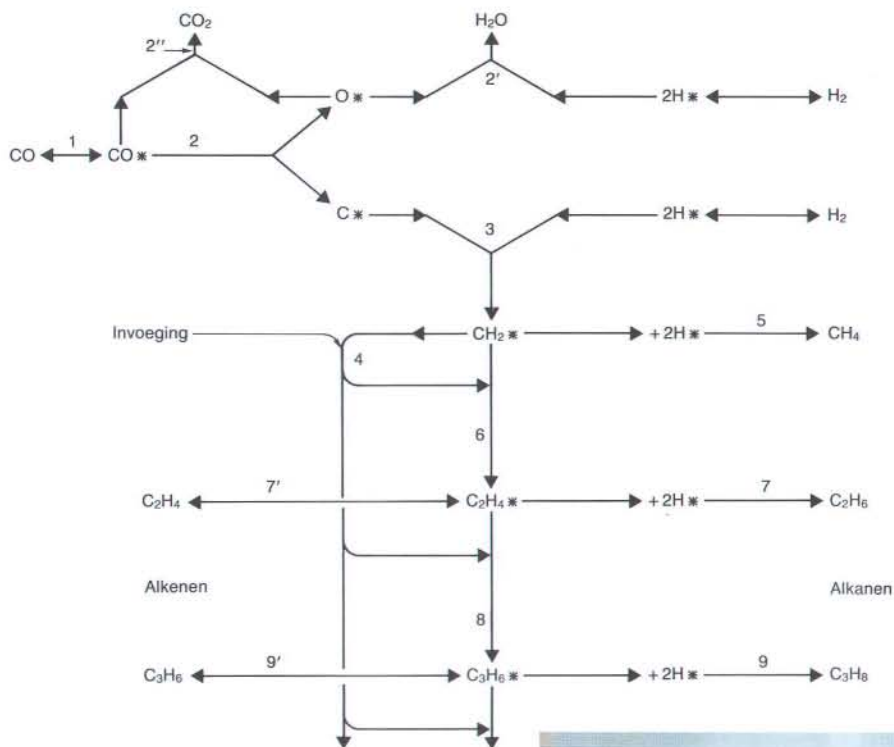
In de praktijk wordt de zuurstof van het CO gedeeltelijk tot water en gedeeltelijk tot koolstofdioxide omgezet. Naast de alkanen  $C_nH_{2n+2}$  worden ook alkenen  $C_nH_{2n}$  gevormd. Franz Fischer en Hans Tropsch hebben dit proces voor en in de Tweede Wereldoorlog ontwikkeld. Het mengsel van CO en  $H_2$  (synthesegas genaamd) wordt uit steenkool en stoom verkregen volgens:



Het Fischer-Tropsch-proces is dus een werkwijze om uit steenkolen vloeibare (motor-) brandstoffen te maken. Het proces is na 1945 vrij snel in de vergeethoek geraakt.

Echter sinds de oliecrisis van 1973 is de belangstelling weer sterk toegenomen. Industriële productie volgens dit proces gebeurt echter alleen in Zuid-Afrika. Daar wil men onafhankelijk zijn van het buitenland; samen met de aanwezigheid van gemakkelijk in dagbouw bereikbare steenkool heeft dit er toe geleid dat jaarlijks ruim 2 miljoen ton vloeibare brandstoffen en andere koolwaterstoffen uit steenkool worden gefabriceerd.

De bereiding van koolwaterstoffen vindt plaats onder invloed van een aantal metalen, zoals ijzer, cobalt en ruthenium: soms als zodanig, maar ook wel aangebracht op een drager. In zekere zin behoort nikkel ook tot de actieve materialen. Met nikkel wordt echter bijna uitsluitend methaan ( $CH_4$ ) gevormd. Het reactieschema staat op de volgende pagina (fig. 6). De door adsorptie van koolstofmonoxide (CO) gevormde koolstofatomen worden gehydrogeneerd tot de bouwsteen



Boven: Fig. 6. Reactieschema voor de bereiding van koolwaterstoffen uit synthesesgas, een mengsel van CO en H<sub>2</sub>, volgens het Fischer-Tropsch-proces. Zowel CO als H<sub>2</sub> adsorberen (1) en dissociëren op het katalytische metaal (2). Het ontstane geadsorbeerde koolstofatoom wordt in eerste instantie gehydrogeneerd tot een geadsorbeerde CH<sub>2</sub> groep (3). Dit is de *bouwsteen* voor de te vormen koolwaterstoffen: steeds wordt een CH<sub>2</sub>-groep *ingeschoven* (4) tussen het metaal en een groeiende koolwaterstofketen, die waarschijnlijk steeds de samenstelling C<sub>n</sub>H<sub>2n</sub> behoudt. Een dergelijke groep kan als zodanig desorberen onder vorming van een alkeen (7') of desorberen na hydrogenering tot een alkaan (7), of verder groeien tot een keten met een CH<sub>2</sub> groep meer (8) etc. Het is de competitie tussen deze drie reacties die de samenstelling van het productenpakket bepaalt. Daarbij speelt de hydrogenering van de bouwsteen CH<sub>2</sub> tot methaan, CH<sub>4</sub> nog een aparte rol (5).

Rechts: Tegenwoordig vindt grootschalige productie van brandstoffen volgens het Fischer-Tropsch-proces alleen plaats in Zuid-Afrika. In grote fabrieken worden per jaar meer dan 2 miljoen ton vloeibare koolwaterstoffen geproduceerd, om onafhankelijk te zijn van olie-invoer.





$\text{CH}_2$ . Deze kan op zijn beurt worden gehydrogeneerd tot methaan  $\text{CH}_4$  (hetgeen op nikkel zeer snel gaat) of deelnemen aan de ketengroei door zgn. *inschuifreacties*. De zo gevormde ketens, van de samenstelling  $\text{C}_n\text{H}_{2n}$ , kunnen als zodanig desorberen (loslaten van het oppervlak) of op hun beurt nog worden gehydrogeneerd tot alkanen  $\text{C}_n\text{H}_{2n+2}$ .

Een van de bijzonderheden van de Fischer-Tropsch-reactie is dat voor de drie genoemde soorten van hydrogenering drie verschillende oppervlakte-ensembles nodig zijn. Het Fischer-Tropsch-proces is dan ook een flexibel proces waarmee men, afhankelijk van de samenstelling van de katalysator en van de procescondities, in hoofdzaak methaan, of kleine alkenen of een benzine-achtig mengsel van koolwaterstoffen, of zelfs vaste paraffine kan verkrijgen. Aangezien de samenstelling van het produkt bepaald wordt door de concurrentie tussen de ketengroei-reacties en de desorpties zal men via het Fischer-Tropsch-proces altijd een mengsel van verbindingen verkrijgen.

### Katalysatorarchitectuur

Een van de centrale onderwerpen van katalysatoronderzoek blijft het probleem op welke wijze men een bepaalde reactie specifiek kan bevorderen. Zo is voor de bereiding van motorbenzine de aanwezigheid van vertakte alkanen, in verband met een hoog octaangetal, zeer gewenst. Rechte alkanen hebben een laag octaangetal: dat van het onvertakte heptaan ( $\text{C}_7\text{H}_{14}$ ) is nul; het octaangetal van een vertakte heptaan, 2,3-dimethylpentaan, is 91.

Een belangrijk deel van de motorbenzine wordt gemaakt door het katalytisch kraken van zwaardere aardoliefracties. Door nu een katalysator te construeren met zulke nauwe poriën dat vertakte alkanen daar niet in kunnen, zullen alleen de onvertakte alkanen worden gekraakt en blijven de vertakte ketens gespaard. De diameter van deze poriën moet dan wel heel constant zijn.

Een amorf materiaal is daar niet geschikt voor, omdat daarin te veel spreiding in porie-



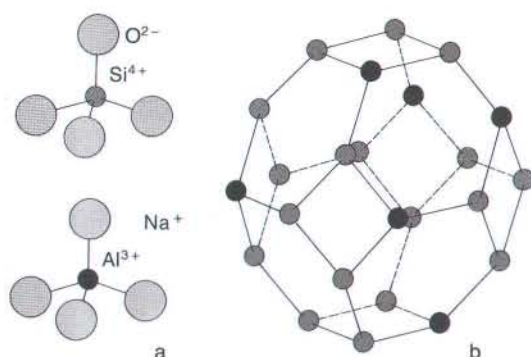
diameter zou optreden: bepaalde gekristalliseerde aluminiumsilicaten, *zeolieten*, zijn dat wel. Deze kunnen door speciale kristallisatie-technieken zo worden gemaakt, dat zij poriën met constante diameter hebben. Een zeoliet (zie fig. 7) met poriën met een diameter van 0,5 nm is voor deze reactie zeer geschikt. Deze kraakt een onvertakte alkaan meer dan 10 maal zo snel dan een alkaan met één methylgroep als zijketern. Op een amorf aluminium-silicaat kraakt juist de laatste 2 à 3 maal zo snel als een onvertakte alkaan.

Een heel ander voorbeeld van katalysator-architectuur is zeer onlangs door Smits in ons laboratorium gevonden. Hij bestudeerde de oxydatie van gluconzuur met luchtzuurstof over platina en op kool. Gluconzuur heeft vijf C-OH groepen die alle geoxydeerd kunnen worden. De reactie bleek dan ook verre van selectief, maar leverde een mengsel van oxydatieproducten. Door nu op de katalysator nog een relatief kleine hoeveelheid van een onoplosbaar loodzout aan te brengen, werd vrijwel alleen 2-keto-gluconzuur verkregen (fig. 8).

De werking van het loodzout dat zich in de nabijheid van het platina bevindt, berust erop dat het gluconzuur zodanig aan het lood van het lood/platinacomplex van de katalysator wordt gebonden, dat juist de beide waterstofatomen, respectievelijk gebonden aan het tweede koolstofatoom en aan het bijbehorende zuurstofatoom, door het platina kunnen worden geabstraheerd.

Hiermee kan een nieuwe klasse verbindingen worden gemaakt die het uit milieu-oogpunt ongewenste fosfaat in wasmiddelen kan vervangen. Ook kan het huidige 7-staps-proces van de synthese van vitamine C worden vervangen door één met slechts 5 reactiestappen.

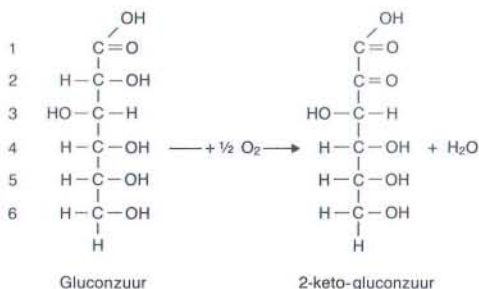
Men verwacht dat speciaal deze gestructu-



Boven: Fig. 7. De opbouw van een synthetisch zeoliet kristal:

- De elementaire groepen,  $\text{SiO}_2$  en  $\text{AlNaO}_2$ . Aangezien de  $\text{Si}^{4+}$ - en de  $\text{Al}^{3+}$ -ionen onderling verbonden worden door zuurstofionen,  $\text{O}^{2-}$ , telt ieder van die vier ionen slechts voor de helft. Het  $\text{Na}^+$ -ion is nodig voor de elektroneutraliteit en heeft geen vaste plaats in het rooster.
- Vierentwintig elementaire groepen voegen zich samen tot deze basisstructuur, waarvan de vierkanten op een kubus, en de zeshoeken op een octaëder liggen. In deze structuur zijn de hoekpunten bezet met  $\text{Si}^{4+}$ - en  $\text{Al}^{3+}$ -ionen, terwijl de  $\text{O}^{2-}$ -ionen op de ribben liggen.
- Zeoliet A ontstaat als de basisstructuren aaneensluiten door zuurstofbruggen die de vierkanten verbinden.
- Zeoliet X ontstaat als de zeshoeken gebruikt worden voor de opbouw van het rooster.

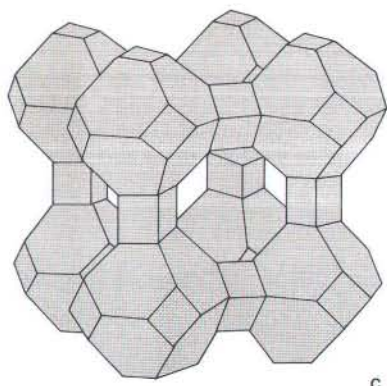
Rechts: Voor de oxydatie van ammoniak wordt wel een platina-rhodium-katalysator gebruikt. De eerste foto toont het Pt-Rh-metaalgaas, 50x vergroot, vóór gebruik, de tweede na 10 maanden industrieel gebruik.



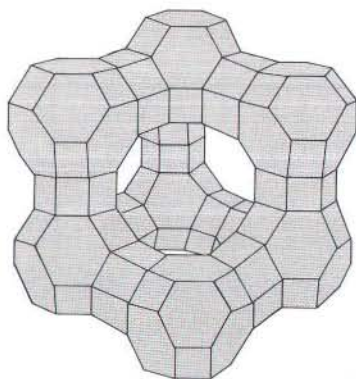
reerde katalysatoren in de toekomst een steeds belangrijkere rol gaan spelen in de ontwikkeling van de katalyse. Daarmee volgen de onderzoekers de methoden van de levende natuur, want ook in de enzymkatalyse speelt de ruimtelijke configuratie van de actieve groepen van een enzym een allesoverheersende rol.

Links: Fig. 8. De selectieve oxydatie van gluconzuur naar 2-keto-gluconzuur. In principe kunnen aan alle koolstofatomen (2 t/m 6) oxydaties plaatsvinden. Slechts met behulp van een specifieke complexe katalysator kan men de oxydatie zo leiden dat de oxydatie alleen aan koolstofatoom 2 plaatsvindt.

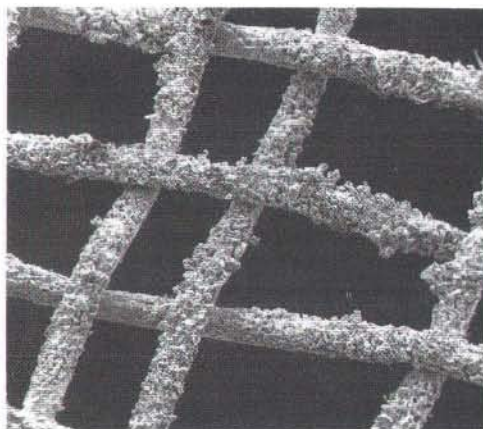
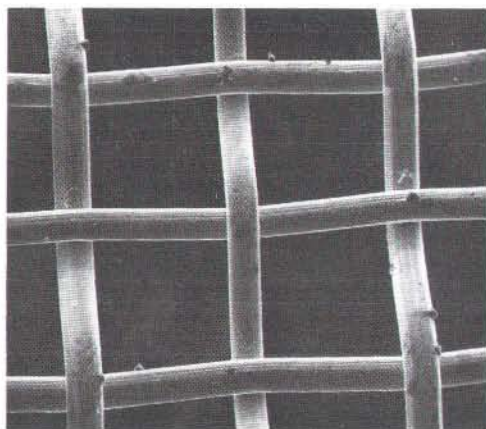




c



d



### Levensduur

Hoe lang gaat een industriële katalysator mee? Het antwoord op die vraag luidt: soms een paar minuten en soms een aantal jaren. Er is een aantal oorzaken waardoor de activiteit van een katalysator achteruit kan gaan. De belangrijkste is waarschijnlijk de *vergiftiging* door onzuiverheden in de reactanten. Zo zijn bijvoorbeeld hydrogeneringskatalysatoren op basis van nikkel overgevoelig voor waterstofsulfide  $\text{H}_2\text{S}$  en is de ijzerkatalysator die gebruikt wordt voor de ammoniaksynthese niet bestand tegen zuurstof of zuurstofverbindingen als water, koolstofmonoxide en koolstofdioxide.

Een tweede vaak voorkomende oorzaak van de deactivering van een katalysator is de afzetting van *nevenprodukten*, waardoor de poriën

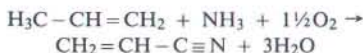
verstopt raken en de daar aanwezige actieve plaatsen niet meer bereikbaar zijn voor de reactanten. Dit is bijvoorbeeld het geval bij de katalysatoren die gebruikt worden voor het katalytisch kraken. Deze katalysatoren hebben onder bedrijfscondities al na enige minuten een belangrijk deel van hun activiteit verloren.

Een derde oorzaak voor een afname van die activiteit kan het *sinteren* (aaneenklonteren) van de katalysator zijn. Dit sinteren treedt op bij relatief hoge temperaturen van de katalysatordeeltjes. Die hoge temperatuur wordt meestal veroorzaakt doordat de katalysatordeeltjes de warmte die vrijkomt bij de gekatalyseerde reactie op die deeltjes niet snel genoeg kan afgeven aan de omgeving.

Economisch gezien is de deactivering van katalysatoren een kostbare zaak, niet alleen door het verlies aan productiecapaciteit, maar

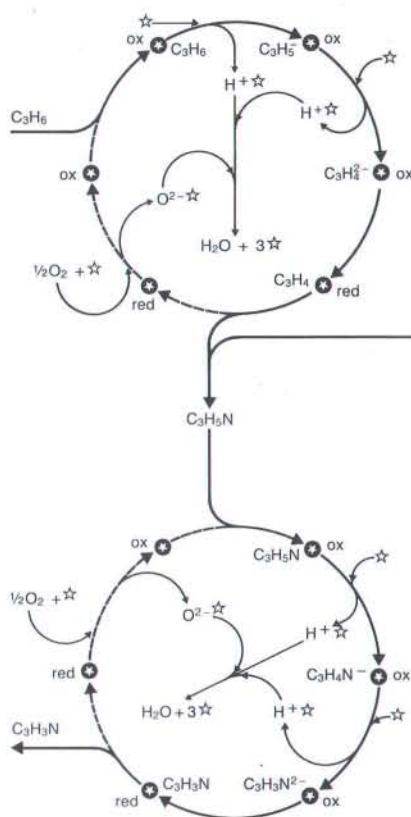
## Complexe katalyse voor acrylvezels

Een complexe katalytische oxydatiereactie is die welke ten grondslag ligt aan de bereiding van acrylnitril,  $\text{H}_2\text{C}=\text{CH}-\text{C}\equiv\text{N}$ , de grondstof voor de wolachtige polyacrylvezel. Deze reactie is zo ingewikkeld, omdat niet twee maar drie reactanten, propeen, ammoniak en zuurstof, met elkaar moeten reageren:



Ook de katalysator is ingewikkeld en bestaat uit minstens drie elementen en vaak veel meer. Een van dergelijke katalysatoren, bestaande uit bismuth, molybdeen en zuurstof, vrijwel geheel als  $\text{Bi}_2\text{MoO}_6$  samengesteld, is in ons laboratorium door Lankhuijzen uitvoerig onderzocht. Deze katalysatoren behoren alle tot een groep die zich gedragen op een manier die het eerst door Mars en Van Krevelen (DSM) is beschreven. Het naar hen genoemde Mars-Van Krevelen-model geldt voor gekatalyseerde oxydatiereacties, waarbij de voor de oxydatie benodigde zuurstof aan het kristalrooster van de katalysator wordt onttrokken. Dit in tegenstelling tot de eerder genoemde oxydatiekatalysatoren die zelf geen zuurstof bevatten, maar dit uit het reactiemengsel moeten adsorberen. Een Mars-Van Krevelen-katalysator wordt dus een beetje gereduceerd. Als zich echter in het reactiemengsel zuurstof bevindt, dan wordt de ietwat gereduceerde katalysator onmiddellijk weer geoxydeerd tot zijn normale toestand.

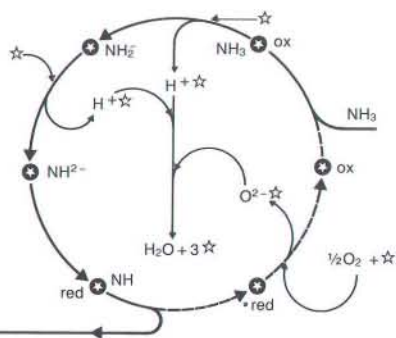
Ook de reactie zelf is ingewikkeld. Kijken we nog even naar de hierboven weergegeven reactievergelijking, dan zien we dat van de reactant propeen  $\text{CH}_3-\text{CH}=\text{CH}_2$  slechts  $\text{C}-\text{CH}=\text{CH}_2$  is overgebleven en van de ammoniak ( $\text{NH}_3$ ) slechts het stikstofatoom N. Beide reactanten hebben dus drie waterstofatomen afgestaan. De reactie is dus in eerste instantie een dehydrogenering die pas gevolgd wordt door een oxydatie als de geabstraheerde waterstof in water wordt omgezet (zie de figuur). De sterren in die figuur stellen in overeenstemming met de internationale regels voor chemische symbolen, actieve plaatsen op de katalysator voor, plaatsen waarop een reactant of een deel daarvan kan worden gechemisorbeerd. Een chemisorptie-evenwicht wordt dan met de volgende reactieformule weergegeven:



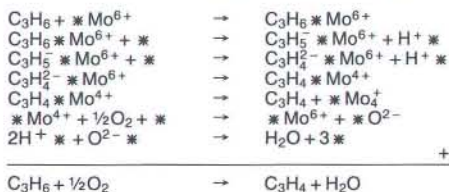
Het bismuthmolybdaat  $\text{Bi}_2\text{MoO}_6$  kan worden opgevat als een verbinding van twee metaaloxiden  $\text{Bi}_2\text{O}_3 \cdot \text{MoO}_3$ . Het molybdeentrioxide is op zich zelf niet katalytisch actief. Het is waarschijnlijk dat het  $\text{Bi}_2\text{O}_3$ -deel van de katalysator nodig is voor de adsorptie van luchtzuurstof en voor de reoxydatie van  $\text{Mo}^{4+}$  tot  $\text{Mo}^{6+}$ . Deze katalysator voor de acrylnitrilsynthese heeft dus een ingebouwde katalysator die de oxydatiecapaciteit handhaaft.



Schema voor de katalytische bereiding van acrylnitril  $C_3H_3N$  uit propaan ( $C_3H_8$ ), ammoniak ( $NH_3$ ) en zuurstof ( $O_2$ ):



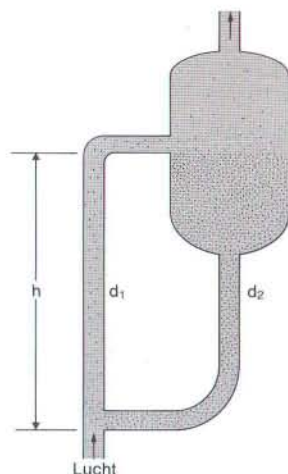
Elke cirkel toont de achtereenvolgende reactiestappen die zich op een actieve plaats, of *site*  $\odot$ , van de katalysator bismuthmolybdaat  $Bi_2MoO_6$  afspelen. Die sites bevinden zich in de buurt van molybdeen-ionen van de katalysator. Als een dergelijke site in de 'ox' toestand is, is het molybdeen in de vorm van  $Mo^{6+}$ , in de 'red' toestand is dat  $Mo^{4+}$ . Verder is in de figuur aangegeven dat er andere sites zijn waarop zich de  $H^+$  en de  $O^{2-}$  bevinden en waar water wordt gevormd. Als we actieve plaatsen weergeven met respectievelijk  $\ast Mo^{6+}$ ,  $\ast Mo^{4+}$  en  $\ast$  dan kunnen we de omzettingen van de eerste cirkel (linksboven) weergeven door de volgende deelreactiestappen:



De acrylnitrilfabriek van DSM in Geleen.

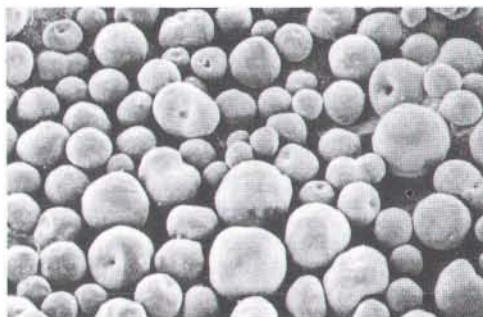
ook door de kosten van vernieuwing of regeneratie van de katalysator. De groep van professor G.F. Froment in Gent heeft veel onderzoek verricht naar het verschijnsel van katalysatordeactivering.

Industrieel wordt katalysatordeactivering op verschillende manieren behandeld. In sommige gevallen wordt de oude katalysator gedumpt en door nieuwe vervangen. Dit kan echter niet indien de gestorte katalysator een nadelige invloed op het milieu kan uitoefenen, of indien de katalysator nog teveel kostbaar materiaal bevat. In die gevallen moeten de schadelijke of kostbare componenten eerst afgescheiden worden. Zo bevat de katalysator in een installatie die het octaangetal van motor-



Boven: Fig. 9. Principe van het transport van een gefluidiseerde katalysator. Door de (extra) hoeveelheid lucht in de linkerbuis is de dichtheid ( $d_1$ ) in die buis lager dan in het voorraadvat en in de rechterbuis ( $d_2$ ). De drijvende kracht voor de circulatie is:  $\Delta P = g \cdot h (d_2 - d_1)$

Links: Katalysator-materiaal voor een wervelbed-reactor (vergroot afgebeeld). Voor een goede werking is een vrij grote spreiding van de diameter gewenst, rond een gemiddelde van  $70 \mu\text{m}$ .



benzine verhoogt een hoeveelheid platina ter waarde van 10 miljoen dollar. Deze katalysator werd dan ook, indien zijn activiteit te laag was geworden, als een zeer kostbaar erts terug gestuurd naar de katalysatorfabrikant. Deze haalde er het platina uit en gebruikte het weer voor de produktie van nieuwe katalysator. Dit kostbare en tijdrovende regeneratieproces wordt, sinds men er in is geslaagd de katalysator tijdens het proces continu te reactiveren, veel minder frequent toegepast.

De continue regeneratie van de katalysator is zeer zeker nodig in het katalytische kraakproces, waar zoals gezegd de activiteit in een paar minuten al in belangrijke mate is achteruitgegaan, voornamelijk door de afzetting van koolstof op de katalysator. De in dit proces gebruikte katalysator bestaat uit kleine bolletjes met een diameter van ca.  $75 \mu\text{m}$  (zie de foto hierboven). Wanneer een geringe hoeveelheid

gas, met een snelheid van 1 à 2 cm per seconde door een bed van deze katalysator opstijgt, wordt de katalysatormassa 'gefluidiseerd', dat wil zeggen dat ze zich gedraagt als een vloeistof die zich door drukverschillen gemakkelijk laat transporteren. De Engelse term 'fluid bed' is dan eigenlijk ook passender dan de Nederlandse uitdrukking 'wervelbed', hoewel het bed, indien er veel gas doorgeleid wordt, zeker als zodanig omschreven kan worden.

De dichtheid van een dergelijk bed is afhankelijk van de hoeveelheid gas die er doorheen gaat, zodat in zo'n systeem dichtheidsverschillen kunnen ontstaan die circulatie veroorzaken (zie fig. 9). De katalysator circuleert van de generator (waar de koolstof van de katalysator wordt afgebrand en de temperatuur is opgevoerd tot boven de  $700^\circ\text{C}$ ) naar de reactor waar de temperatuur daalt tot omstreeks  $500^\circ\text{C}$ . Dit komt doordat warmte aan de kata-



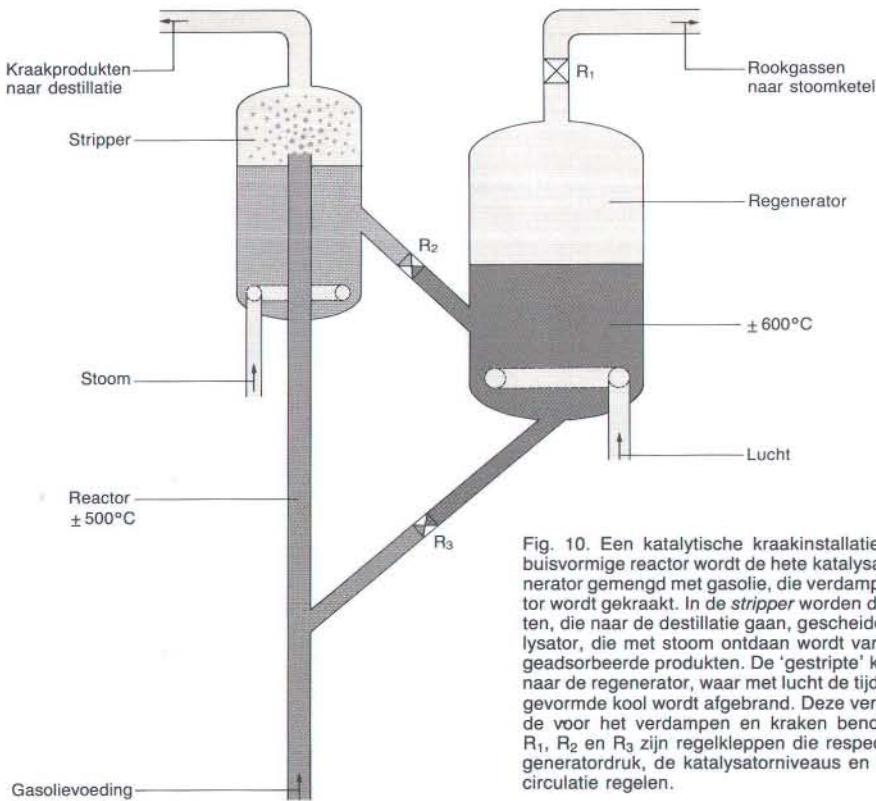


Fig. 10. Een katalytische kraakinstallatie. Onder in de buisvormige reactor wordt de hete katalysator uit de regenerator gemengd met gasolie, die verdampt en in de reactor wordt gekraakt. In de *stripper* worden de kraakprodukten, die naar de destillatie gaan, gescheiden van de katalysator, die met stoom ontdaan wordt van nog vluchtige geadsorbeerde produkten. De 'gestrippte' katalysator gaat naar de regenerator, waar met lucht de tijdens het kraken gevormde kool wordt afgebrand. Deze verbranding levert de voor het verdampen en kraken benodigde warmte.  $R_1$ ,  $R_2$  en  $R_3$  zijn regelkleppen die respectievelijk de regeneratordruk, de katalysatorniveaus en de katalysatorcirculatie regelen.

lysator wordt onttrokken voor de opwarming van de te kraken oliefractie en voor de warmte die voor de reactie nodig is.

De katalysatorcirculatie bedraagt voor een installatie die 5000 ton olie per dag kraakt ongeveer 30000 ton per dag. Zo'n circulatiesnelheid stelt zeer bijzondere eisen aan de wanden van de installatie en aan de katalysator wat betreft hun bestendigheid tegen slijtage.

De productie van een goede industriële katalysator is dan ook niet eenvoudig. Niet alleen moet de gewenste reactie op effectieve wijze worden gekatalyseerd, zonder dat ongewenste nevenreacties in belangrijke mate meedoen, maar ook moet de katalysator vaak nog bestand zijn tegen een scala van chemische, thermische en mechanische invloeden. Onderzoek ten behoeve van industrieel nuttige katalysatoren is dan ook een boeiende en vaak spannende bezigheid.

#### Literatuur

Kasteren, J. van, (1985), *Katalysatoren, kunst of wetenschap*, De Ingenieur 97 (5): 16-21.  
Molenaar, L. en P. Kooiman, (1985), *Chemie en Samenleving. Van kleurstof tot kunstmest*, Maastricht: Natuur en Techniek, ISBN 9070157 500.

#### Bronvermelding illustraties

Fred Hammers, TH Delft. Met toestemming van *de Ingenieur*: pag. 812-813.  
VEG-Gasinstituut, Apeldoorn: pag. 814-815.  
Ing. W. van Lith, TH Eindhoven: pag. 816 (boven).  
Elenco, Electrochemische energieconversie n.v., Mol: pag. 816, 817.  
Shell Nederland B.V., Rotterdam: pag. 819.  
Werkfoto Lurgi, Frankfurt am Main: pag. 820-821.  
Degussa, Frankfurt am Main: pag. 823.  
DSM, Heerlen: pag. 825.  
Akzo Chemie B.V., Amersfoort: pag. 826.

# MAGNEETVELDEN VAN DE ZON

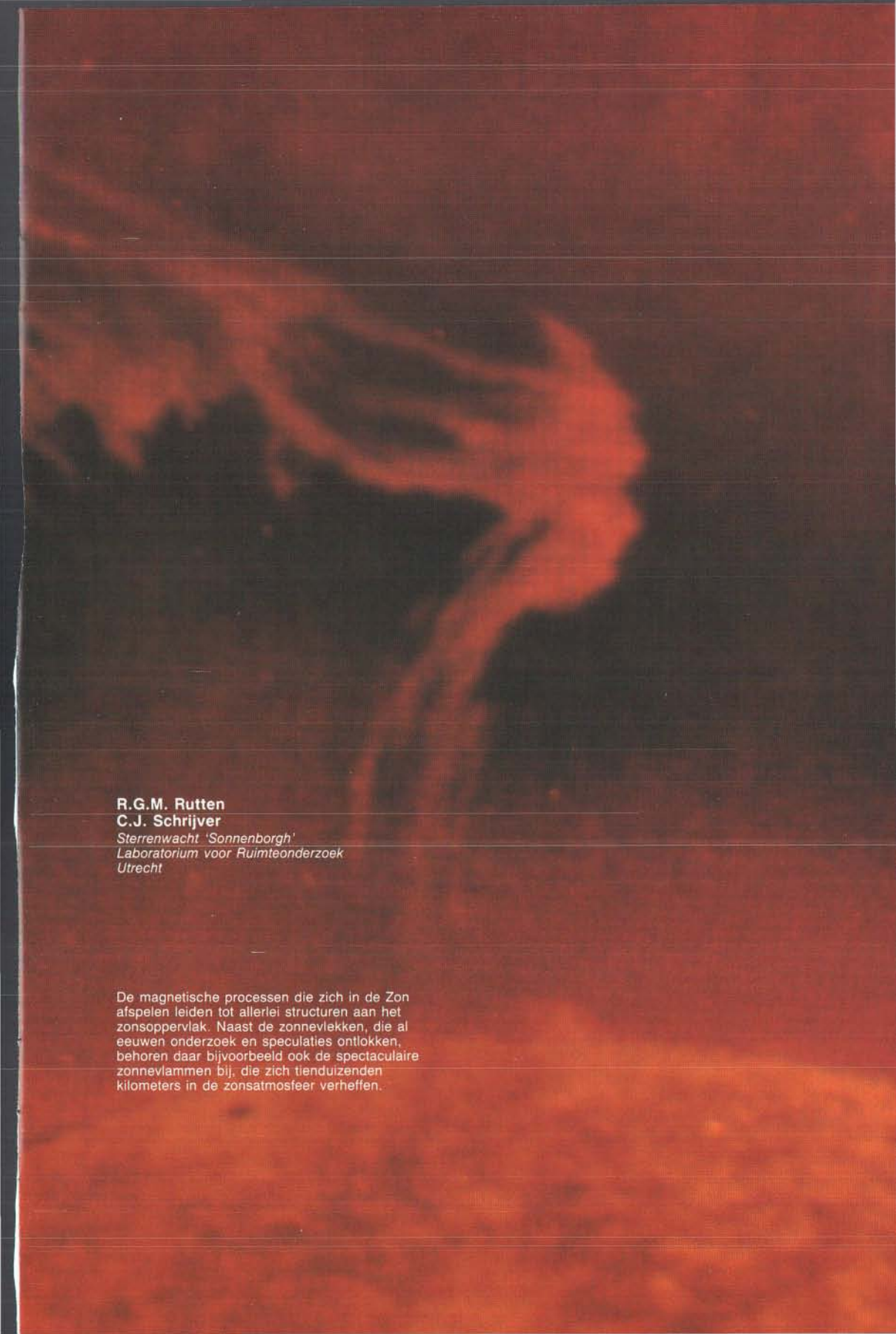
## Lichtend voorbeeld voor andere sterren

De op het oog zo gladde Zon blijkt bij nauwkeurige beschouwing verrassende structuren te hebben. Magneetvelden bepalen de vorm van deze structuren en de processen die zich daarin afspelen. Het al vele eeuwen bekende verschijnsel van zonnevlekken is slechts één uiting van magnetische velden op de Zon. Men denkt dat magneetvelden worden veroorzaakt door de bewegingen van het gas in het inwendige van de Zon.

Dank zij de nabijheid van deze ster kunnen de structuren op het oppervlak en in de ijle atmosfeer met grote nauwkeurigheid bestudeerd worden, zodat verschijnselen die bij andere, zon-achtige sterren worden waargenomen, verklaard kunnen worden.

Onderzoek naar het voorkomen van magneetvelden in de atmosfeer van zon en sterren kan ons meer inzicht geven in de mechanismen die zich in het inwendige van de ster afspelen en verantwoordelijk zijn voor de opwekking van magneetvelden. De studie naar verschijnselen aan het oppervlak van sterren wordt zo een werktuig bij het onderzoek van het onzichtbare inwendige.





**R.G.M. Rutten**

**C.J. Schrijver**

*Sterrenwacht 'Sonnenborgh'*

*Laboratorium voor Ruimteonderzoek*

*Utrecht*

De magnetische processen die zich in de Zon afspelen leiden tot allerlei structuren aan het zonsoppervlak. Naast de zonnevlekken, die al eeuwen onderzoek en speculaties ontlokken, behoren daar bijvoorbeeld ook de spectaculaire zonnevlammen bij, die zich tienduizenden kilometers in de zonsatmosfeer verheffen.

## Magneetvelden in de atmosfeer van de Zon

Een in vroeger jaren gemaakte veronderstelling bij de beschrijving van sterren luidt: indien twee kenmerken van een ster (bijvoorbeeld de massa en de straal) bekend zijn, dan zijn zowel de opbouw van die ster als haar geschiedenis en toekomst bepaald. In deze zeer vereenvoudigde voorstelling wordt een ster (zoals de Zon) beschreven als een gasbol waarin evenwicht heerst tussen de naar het centrum gerichte zwaartekracht en de naar buiten ge-

richte kracht die veroorzaakt wordt door de druk van het gas. Op de Zon spelen zich echter vele verschijnselen af en deze regelmatige en onregelmatige veranderingen kunnen niet met het bovengenoemde, eenvoudige stermodel verklaard worden.

De van oudsher bekendste structuren in de atmosfeer van de Zon zijn de zonnevlekken. De vroegst gedateerde waarnemingen van donkere vlekken zijn die van de Griekse geleerde Theophrastus, driehonderd jaar voor het begin van onze jaartelling. De vele ideeën die

## De geschiedenis van de verklaring van zonnevlekken

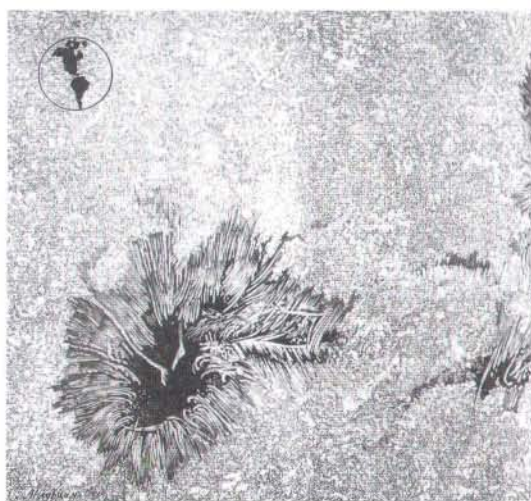
De kleine, donkere vlekken op het oppervlak van de Zon hebben door de eeuwen heen de aandacht getrokken. Tegenwoordig weten we dat deze vlekken gebieden zijn met sterke magnetische velden, die bovendien koeler zijn dan hun omgeving en daardoor donker afsteken.

De vroegst bekende waarneming van zonnevlekken is die van Theophrastus, een volgeling van Plato en Aristoteles, die ruim drie eeuwen voor het begin van onze jaartelling op de opkomende zon donkere vlekken zag en deze duidelijk onderscheidde van wolken in de aardse atmosfeer. Drie eeuwen later maakte Vergilius melding van vlekken op de Zon en omstreeks dezelfde tijd werden vlekken voor het eerst genoemd in Chinese geschriften.

De uitvinding van kijkers maakte het waarnemen van zonnevlekken veel eenvoudiger, maar droeg niet veel bij tot een goede verklaring. In 1793 schreef J.E. Bode (nog onbekend met de Griekse en Chinese uitspraken) in zijn 'Erläuterungen der Sternkunde und der dazugehörigen Wissenschaften':

*"De zonnevlekken werden kort na de uitvinding van de verrekijker in het jaar 1610 of 1611 ontdekt. De 'Herr Obristwachtmeister von Zach zu Gotha' heeft in de handschriften van de Engelse astronoom Sarriot al een waarneming ervan van 8 december 1610 gevonden. In maart 1611 werden zij voor het eerst door pater Scheiner in Ingolstadt opgemerkt. Omdat echter zo'n verschijning tegen de opvattingen van de toenmalige filosofen indruiste maakte hij zijn waarneming pas in januari 1612 onder een schuilnaam bekend ... Deze eerste en de daaropvol-*

*gende waarnemers bemerkten aan deze vlekken vele veranderingen, zij werden groter en kleiner, verdwenen soms geheel, of lieten een schaduw achter ... Het gangbare idee over de natuur en de aard van de Zon was gedurende duizenden jaren, dat zij een werkelijk brandend vuur zou zijn en derhalve verklaarde men de in de recentere tijden met verrekijkers op haar oppervlak ontdekte vlekken als rook- en dampwolken, die het zonnevuur soms uitbraakt en dan weer in zich opneemt. De la Sire en andere astronomen stelden zich de zonnekogel voor als een met een gloeiende, vloeibare materie, gelijkend op gesmolten*





over de aard van de zonnevlekken ontwikkeld zijn geven aan dat dit verschijnsel door de eeuwen heen onderzoekers heeft aangespoord tot onderzoek en speculatie (zie intermezzo I).

Zonnevlekken steken donker af tegen hun omgeving: het gas aan het oppervlak van de Zon heeft een temperatuur van ongeveer 6000 Kelvin, terwijl in een zonnevlek de temperatuur zo'n 4400 Kelvin bedraagt. De relatief koele zonnevlekken steken donker af tegen de hetere omgeving, doordat de totale hoeveelheid straling die door een gas wordt uit-

gestraald minder is naarmate de temperatuur van het gas afneemt.

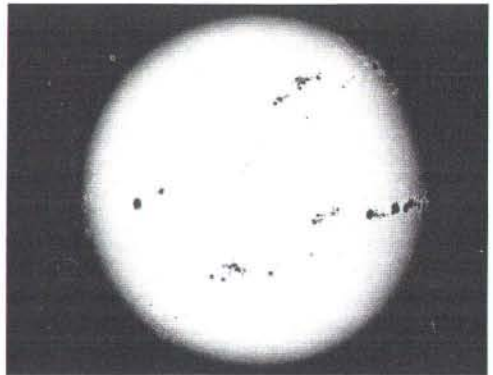
Een moderne verklaring voor de zonnevlekken ontstond aan het begin van deze eeuw, toen instrumenten waren ontwikkeld waarmee magneetvelden op de zon konden worden aangetoond en onderzocht. In die tijd verrichtte Hale op het Mt. Wilson Observatorium in de bergen nabij Pasadena (California, U.S.A.) baanbrekend werk. Hij bepaalde voor verschillende plaatsen op de zonneschijf de sterkte en de polariteit (noord of zuid) van het mag-

*lava, waarin grote klompen uitgebrande materie drijven, die afwisselend in de vuurzee van de Zon opduiken, aldus zich als donkere vlekken tonend, om daarna weer weg te zinken."* Daaruit blijkt dat men in die tijd noch de ware aard van zonnevlekken, noch die van de Zon kende.

In 1610 werden de zonnevlekken ook door Galilei waargenomen. Het duurde tot 1908, toen Hale het voorkomen van magneetvelden in zonnevlekken aantoonde, voordat men aan de moderne verklaring van dit verschijnsel kon beginnen.



Langley verrichtte bijzonder gedetailleerde waarnemingen van zonnevlekken in de 19e eeuw (let op de schaal: de Aarde is linksboven afgebeeld). Het heeft tot het begin van de 20e eeuw geduurd alvorens men, na de ontdekking van magneetvelden op de Zon, kon beginnen aan een moderne verklaring.



Een opname van de Zon in zichtbaar licht toont de relatief koele, donkere zonnevlekken. Ze ontstaan ten gevolge van magnetische velden in de Zon zelf.

neetveld. Zo werd het mogelijk om het magneetveld van de zon in kaart te brengen (magnetogram). Hierdoor werd duidelijk dat zonnevlekken in nauwe relatie staan tot de magnetische velden (zie de foto op pag. 834).

In en nabij een zonnevlek of een groep van vlekken is de magnetische veldsterkte groot. Rondom de vlek zijn velden van zowel noord- als zuid-polariteit aanwezig. De magneetvelden geven aanleiding tot complexe vormen in de atmosfeer die zich tot ver buiten de zon kunnen aftekenen. Deze structuren in de atmosfeer zijn in het zichtbaar licht slechts tijdens een zonsverduistering zichtbaar.

Het aantal zonnevlekken of magnetisch actieve gebieden varieert. Dit wordt enerzijds veroorzaakt door de beperkte levensduur van de zonnevlekken zelf (één tot enkele weken), terwijl anderzijds het totale aantal zonne-

vlekken een cyclus heeft met een periode van ongeveer 11 jaar. Deze laatste wordt de activiteitscyclus genoemd.

Uit deze beknopte opsomming van wat er zich op de Zon afspeelt wordt duidelijk dat deze ster meer is dan een eenvoudige, stralende gasbol. Onlangs is aangetoond dat vele sterren dezelfde verschijnselen hebben. Daarom kan de Zon, als meest nabije voorbeeld van een ster, gebruikt worden als studieobject voor de vele verschijnselen die samenhangen met magnetische activiteit.

### Actieve gebieden

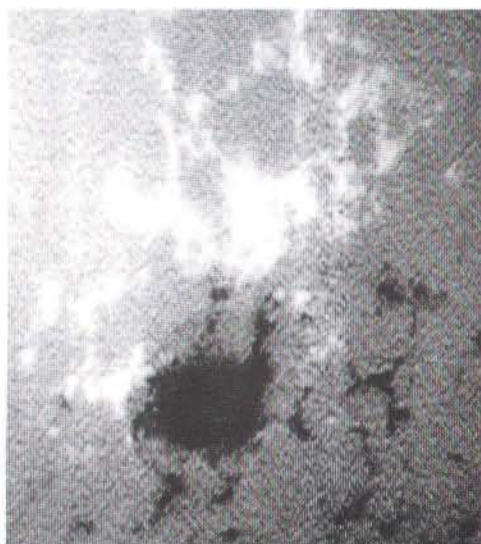
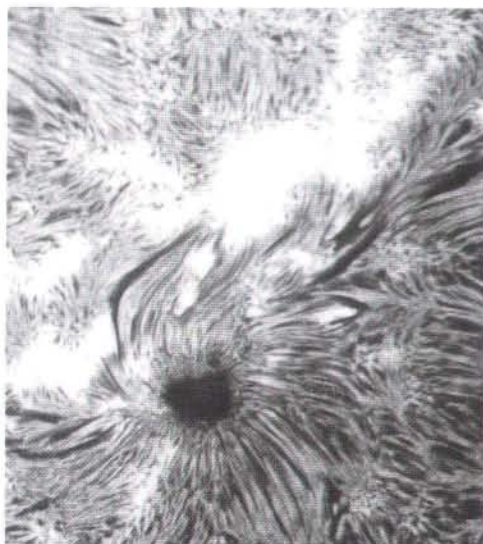
De magneetvelden zijn niet willekeurig verspreid over het oppervlak, maar zijn geconcentreerd in afzonderlijke gebieden die veelal een of enkele zonnevlekken bevatten. Een dergelijk gebied wordt een 'actief gebied' genoemd. Binnen één actief gebied zijn magneetvelden aanwezig met tegengestelde polariteiten. Aangrenzende gebieden op het oppervlak met een tegengestelde polariteit zijn, zoals het veld van een hoefijzermagneet, met elkaar verbonden door middel van boogvormige magnetische veldlijnen die zich vele tienduizenden kilometers boven het oppervlak verheffen. Deze specifieke boogvorm van het veld is essentieel voor vele processen die de energiehouding van de atmosfeer bepalen.

### De atmosfeer van sterren

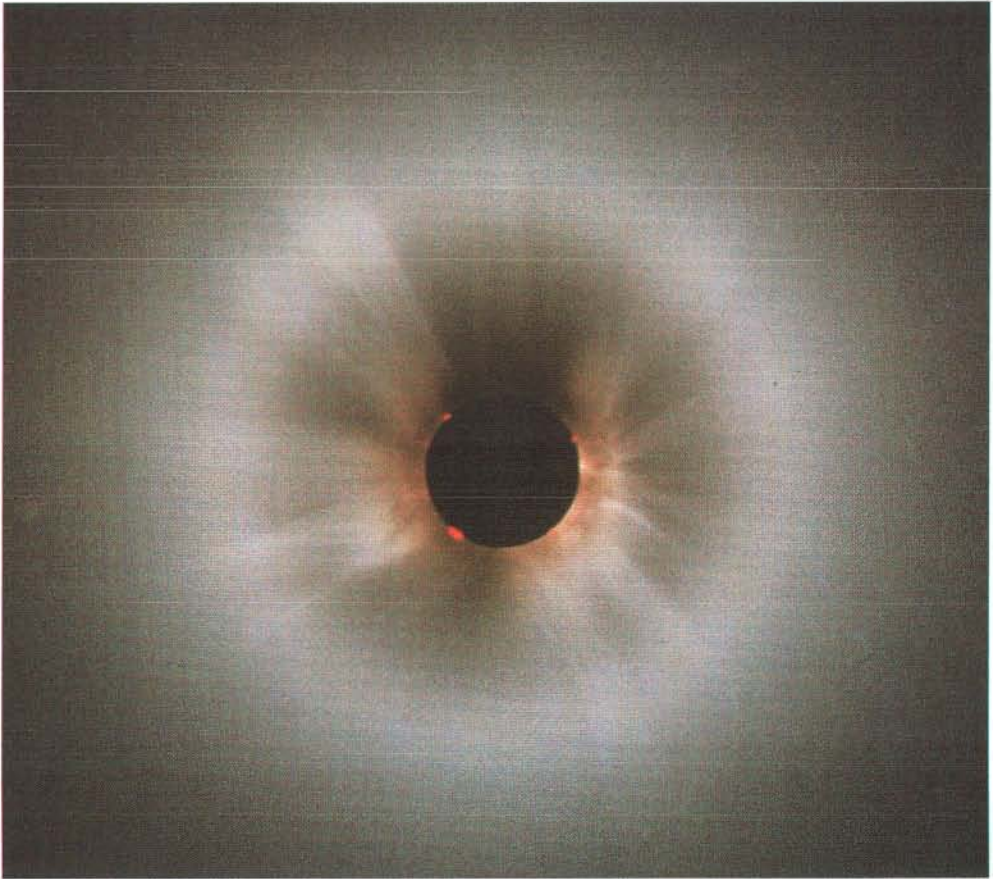
Hierboven werd het oppervlak van de Zon genoemd, maar strikt genomen kunnen we niet van een duidelijk oppervlak zoals op Aarde spreken. Wat we als het oppervlak aanduiden is die laag in de Zon waar het grootste gedeelte van de zichtbare straling vandaan komt. Deze wordt daarom ook wel de *fotosfeer* genoemd. Door de geringe dikte van de fotosfeer (slechts een paar honderd kilometer vergeleken met de zonsdiameter van 1,4 miljoen kilometer) heeft de Zon schijnbaar een scherp bepaald oppervlak.

Het gas boven het oppervlak noemen we de zonsatmosfeer. Deze kan verder worden onderverdeeld in verschillende gebieden die zich van elkaar onderscheiden in de temperatuur van het gas. Boven actieve gebieden vinden we, grenzend aan de fotosfeer (6000 Kelvin), de *chromosfeer*, waarin het gas een temperatuur heeft die tot 20000 Kelvin kan oplopen. Gebieden nog hoger in de atmosfeer, waar het gas een temperatuur heeft van enkele miljoenen Kelvin, noemen we de *corona*. Bij benadering kan worden gesteld dat hoger in de atmosfeer de temperatuur toeneemt. De gedetailleerde temperatuuropbouw wordt echter bepaald door de structuur van het magneetveld (fig. 1).

Door de sterkte van het magneetveld in de atmosfeer volgt het zeer ijle gas de bewegingen

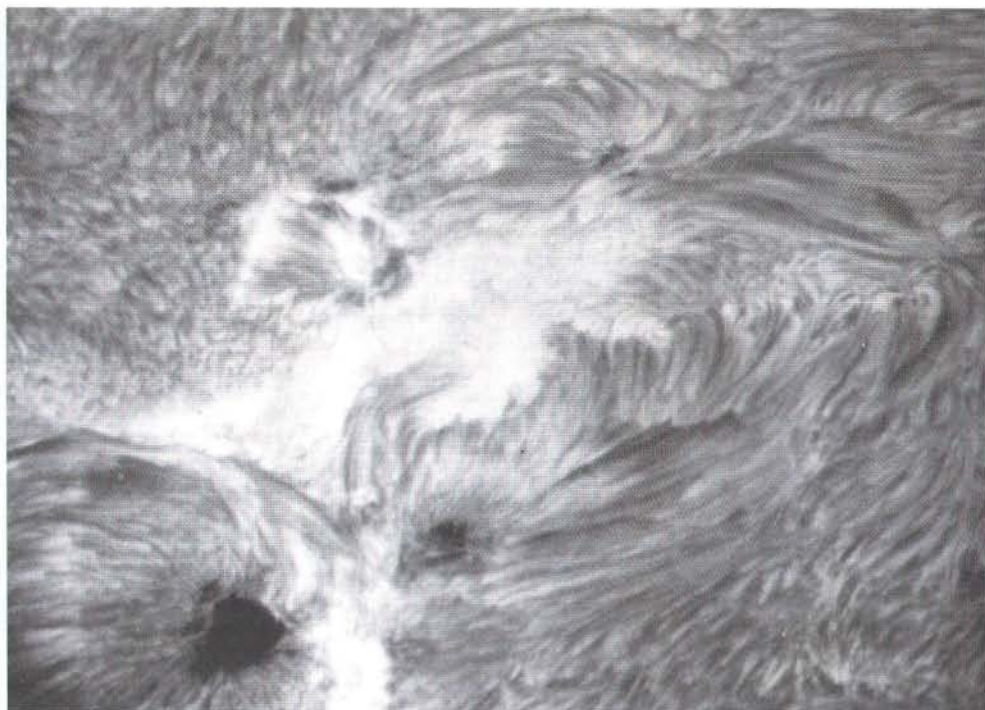






Boven: Ook ver van de Zon verwijderd is het magnetisch veld bepalend voor de bewegingen van het hete gas, wat aanleiding geeft tot mooie patronen die zichtbaar zijn als bij een zonsverduistering de heldere zonnescijf is afgeschermd.

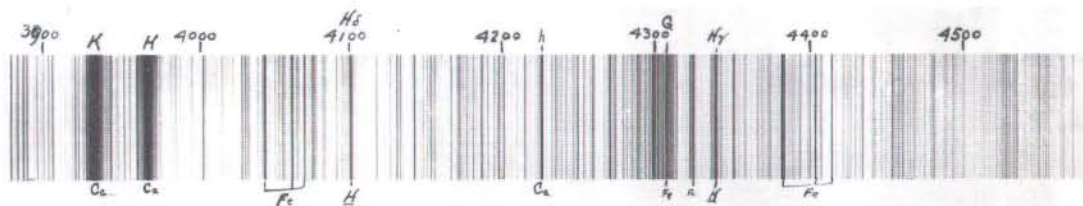
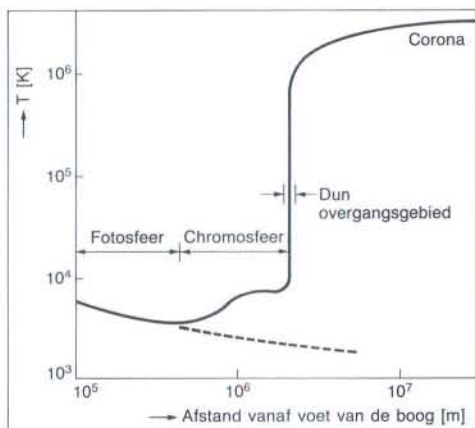
Links: Een magnetisch actief gebied wordt vaak gekarakteriseerd door een zonnevlek. De linker foto is opgenomen in het licht van een spectraallijn van waterstof en toont duidelijk een zonnevlek. De middelste foto toont het magnetisch veld (magnetogram) van hetzelfde gebied, waarin de donkere en lichte tinten magnetische velden van tegengestelde polariteit representeren. Rechts zien we dit actief gebied in het licht van een spectraallijn van  $\text{Ca}^+$  waarin heldere gebieden aangeven waar het gas een temperatuur van ongeveer 10 000 graden heeft. Een vergelijking tussen de foto's geeft aan dat in een actief gebied sterke magnetische velden bestaan en dat door die sterke velden het gas verhit wordt.



Boven: Enkele zonnevlekken van tegengestelde magnetische polariteit laten de veldstructuur zien die doet denken aan het veld van een hoefijzermagneet.

Rechts: Fig. 1. De zonsatmosfeer met magneetvelden heeft een groot verschil in temperatuur tussen de chromosfeer en de corona. De overgang vindt plaats in een zeer dun gebied. Zonder magneetvelden zou de temperatuur naar buiten toe blijven afnemen (stippellijn).

Onder: Wanneer de energie van licht met een bepaalde golflengte correspondeert met de overgang van een elektron in een atoom, kan dat licht opgenomen worden waarbij de energie overgedragen wordt aan het elektron. Hierdoor ontstaat een vermindering in de hoeveelheid licht bij die bepaalde golflengte (of energie), wat resulteert in een donkere lijn in het spectrum. Geheel links in dit violetten en blauwe deel van het zonnespectrum zijn twee sterke spectraallijnen zichtbaar van één maal geïoniseerd calcium. Deze lijnen dragen informatie over de chromosfeer omdat geïoniseerd calcium juist daar voorkomt.





van dit magneetveld (zie intermezzo II). In het zonsinwendige is het gas zó dicht dat de velden de bewegingen van het gas moeten volgen. De magneetvelden zijn in staat het gas dat zij vasthouden te verhitten waardoor de zichtbare structuren, zoals de typerende boogvormige buizen, de loop van het magneetveld weerspiegelen. Het gas in een magnetische boog wordt nabij de fotosfeer verhit tot zo'n 10000 K (per definitie de chromosfeer). Hoger in de magnetische boog vindt verhitting plaats tot enkele miljoenen Kelvin (de corona).

### Magneetvelden in de atmosfeer

Een magnetogram is een belangrijk hulpmiddel om de relatie tussen het magneetveld en de door de gassen uitgezonden straling te bestuderen. Grote, magnetisch actieve gebieden zijn in het zichtbare licht van de fotosfeer slechts te herkennen door eventueel voorkomende zonnevlekken. Hoger in de atmosfeer is het gas zó ijl dat het, in verhouding tot de fotosfeer, weinig zichtbaar licht uitzendt. Daarom zijn andere methoden nodig om de magnetische activiteit zichtbaar te maken.

In het spectrum van de Zon worden sommige sterke lijnen gevormd in de chromosfeer. Deze bevatten dus geen licht uit de fotosfeer. Als we naar de Zon kijken in het violette deel van het spectrum (Ca<sup>+</sup>-lijn), zien we de gebieden op de schijf met de sterkste magneetvelden het sterkst oplichten. Ook bij sterren, waar we het magneetveld niet kunnen meten, kunnen we op deze manier de magnetische activiteit bepalen.

In de corona is de temperatuur van het ijle gas zó hoog dat er voornamelijk röntgenstraling wordt uitgestraald. In het bijzonder op plaatsen waar sterke magneetvelden het gas verhitten is de hoeveelheid röntgenstraling erg hoog (zie foto pag. 836-837).

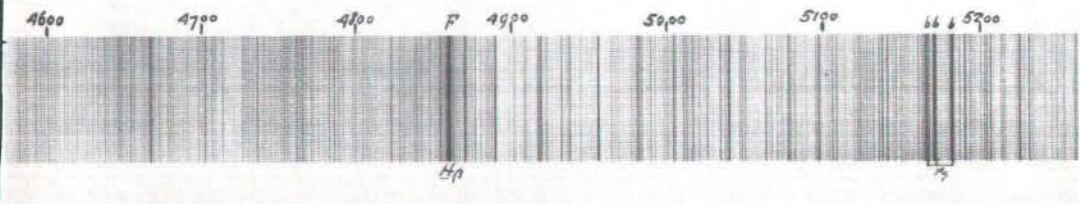
### Magneetvelden in het inwendige

Tot nu toe hebben we de verschijningsvorm van magnetische velden op het oppervlak besproken, maar niet de oorzaak van het bestaan van deze velden. Gewone magneten, zoals die op Aarde voorkomen, kunnen in de Zon niet bestaan door de hoge temperaturen aldaar. Magneetvelden kunnen echter ook door elektrische stromen opgewekt worden (zie intermezzo II). Door de hoge temperatuur in de Zon is de gasvormige materie vrijwel geheel geïoniseerd, zodat de elektronen en de atoomkernen vrij van elkaar kunnen bewegen (plasma) en elektrische stromen kunnen vormen die magneetvelden opwekken.

Een magneetveld en een elektrische stroom vormen een onafscheidelijk paar: de een bestaat niet zonder de ander. Juist daardoor kunnen we volstaan met de beschrijving van één van de twee; de ander volgt direct daaruit. Bij de beschrijving van de processen in de atmosfeer beperkten we ons in het voorafgaande tot het magneetveld, omdat dit het meest makkelijk waarneembare is. Soms is het echter duidelijker om over de bijbehorende stromen te spreken.

Een elektrische stroom in een stroomkring zonder spanningsbron (batterij of generator) zal uitdoven als die kring weerstand heeft. Hoe groter de weerstand is, des te sneller de stroom en het bijbehorend magneetveld uitdoven. Het mengsel van ionen en elektronen in de Zon heeft een zeer lage elektrische weerstand en gigantische afmetingen, waardoor het uitdoven van de stromen in de zon ongeveer een miljard jaar duurt.

Dit is veel langer dan wat wij onder aardse omstandigheden gewend zijn. Vergeleken met haar leeftijd (ongeveer 4,5 miljard jaar) is het echter vrij kort, zodat er in de Zon nu vrijwel geen magneetveld meer zou zijn, zelfs niet in-



dien de Zon een sterk magnetisch veld had bij haar geboorte. Dat betekent dat zich in de Zon een stroomopwekkend proces moet afspelen.

Er doet zich nog een ander probleem voor. Het magnetisch veld van de Zon keert elke 11 jaar van teken om, wat betekent dat er een proces in de zon moet plaatsvinden dat een wisselstroom veroorzaakt. Vanwege dit tijdsafhankelijke gedrag wordt dit proces 'dynamo' genoemd.

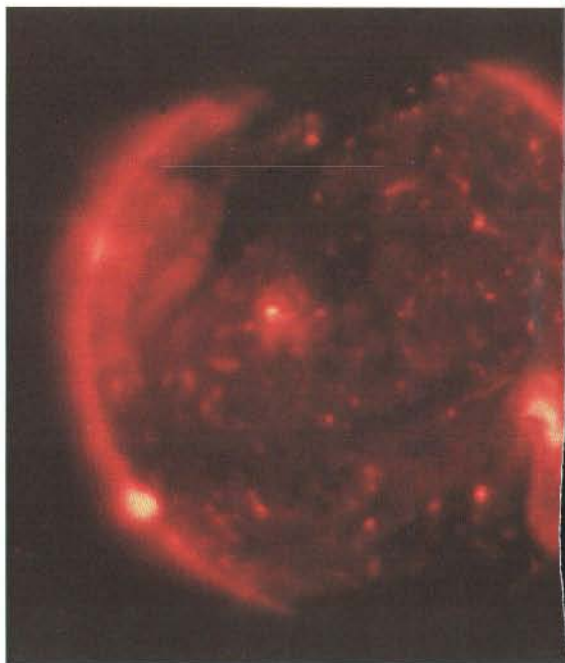
Tijdens de 11-jarige cyclus varieert ook het aantal actieve gebieden op de Zon. Aan de hand van jarenlange metingen heeft men ontdekt dat ook andere sterren een activiteitscyclus vertonen; de duur is niet altijd 11 jaar zoals bij de Zon het geval is.

### Convectie in de Zon

De magnetische velden die aan het oppervlak van de Zon zichtbaar zijn, worden ergens in het inwendige opgewekt. In de kern vinden onder extreem hoge druk en temperatuur kernreacties plaats. De daarbij vrijkomende energie verplaatst zich in de vorm van licht (fotonen) naar buiten. De vrije doorgang van fotonen in het inwendige wordt belemmerd door de hoge dichtheid van het gas, zodat ze voortdurend worden geabsorbeerd en later weer in een willekeurige richting worden uitgezonden (eventueel in de richting waaruit het foton kwam). Door dit proces heeft een hoeveelheid energie enkele miljoenen jaren nodig om het oppervlak te bereiken.

Gaande van de kern naar het oppervlak neemt de temperatuur van het gas af. Op meer dan 80 procent van de zonstraal is de temperatuur zo laag geworden dat elektronen en protonen weer kunnen samengaan (recombineren) tot neutraal waterstof (het meest voorkomende element in Zon en sterren). Hierdoor kan het gas op deze plaats zeer veel licht absorberen.

Een andere methode om energie naar buiten te transporteren, namelijk convectie, werkt dan beter. Daarbij verplaatst gas zich vanuit een diepe, hete laag naar een hoger gelegen, koelere laag en omgekeerd. Hiermee wordt netto energie naar buiten getransporteerd. Deze borrelende bewegingen van het gas in de buitenste lagen van de Zon (convectielaag) zijn van groot belang bij het opwekken van magnetische velden (zie fig. 2).



### Een magnetische dynamo

We hebben gezien dat stromen in de Zon iedere 11 jaar omkeren. De verklaring daarvan moet worden gezocht in de bewegingen van het gas in de convectielaag. In een niet-roterende ster zijn de bewegingen van het opstijgende en neerdalende gas volstrekt willekeurig, met als gevolg dat de stromen kris-kras door elkaar gaan lopen; tegengestelde stromen kunnen elkaar opheffen, waarmee ook het magnetisch veld zal uitdoven.

De meeste sterren, en ook de Zon, draaien om hun as. Deze rotatie veroorzaakt systematische bewegingen in het opstijgende en neerdalende gas waardoor stromen ook systematisch van richting kunnen veranderen, zodat een wisselstroom ontstaat. Om te begrijpen waarom de bewegingen in een roterende ster niet willekeurig zijn, volgen we, bij wijze van gedachtenexperiment, een in de convectielaag opstijgende gasbel. Tijdens het opstijgen wordt de gasdruk steeds lager: de gasbel zal uitzetten. Hierbij stroomt gas weg van het centrum van de bel; er zullen dus horizontale bewegingen optreden. De rotatie van de Zon veroorzaakt in de horizontale stromingen een zo-

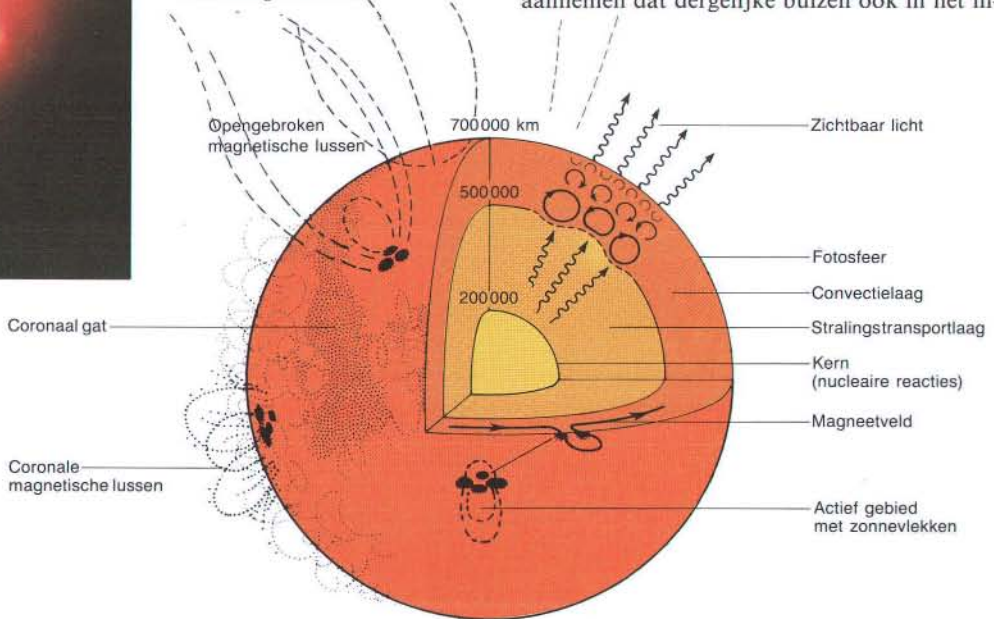


Fig. 2. De verschillende processen in en op de Zon, waarbij magneetvelden betrokken zijn, zijn in de figuur onder samengevat. Energie die vrijkomt bij kernreacties diep in de Zon verplaatst zich door de buitenste schil naar buiten door middel van grootschalige gasbewegingen (convectie). Deze bewegingen, te samen met de rotatie van de Zon, veroorzaken stromen van geladen deeltjes die magneetvelden opwekken. Deze lichten in de zonsatmosfeer fel op door hun hoge temperatuur. Op de röntgenfoto is dit zichtbaar naast de donkere coronale gaten, waar geen magnetische bogen zijn. De lichte puntjes worden veroorzaakt door kleine magneetvelden.

sterken als van richting kan doen veranderen. Het ingewikkelde proces van opwekking van magneetvelden, dat op veel punten nog slecht begrepen is, wordt kortweg aangegeven met de term 'dynamo'.

### Magneetvelden aan het oppervlak

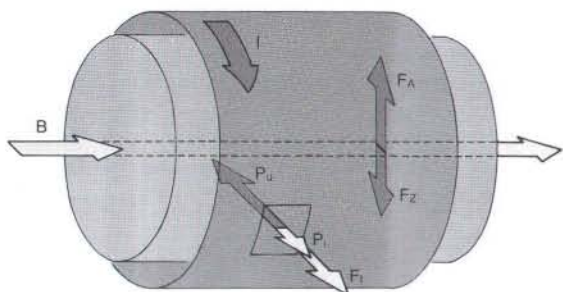
Tot zover speelt alles zich af in het binnenste van de ster, maar hoe komt het veld nu aan de oppervlakte? We zagen dat het magneetveld zich in de vorm van boogvormige buizen aan het oppervlak manifesteert. Laten we eens aannemen dat dergelijke buizen ook in het in-



genaamde Coriolis-kracht, een verschijnsel dat ook uit de weerkunde bekend is: indien lucht zich horizontaal over het aardoppervlak voortbeweegt dan ontstaat door de draaiing van de Aarde een kracht die de stroming afbuigt naar het noorden op het noordelijk halfrond en naar het zuiden op het zuidelijk. De bewegingen worden in kolkende patronen omgezet. Deze kolkpatronen zijn karakteristiek voor hoge- en lagedrukgebieden, zoals we die zien bij het weerpraatje op de TV.

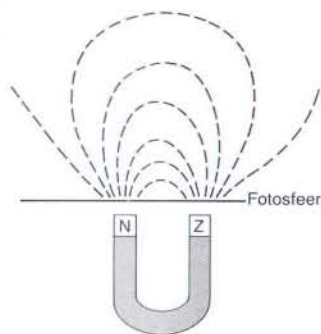
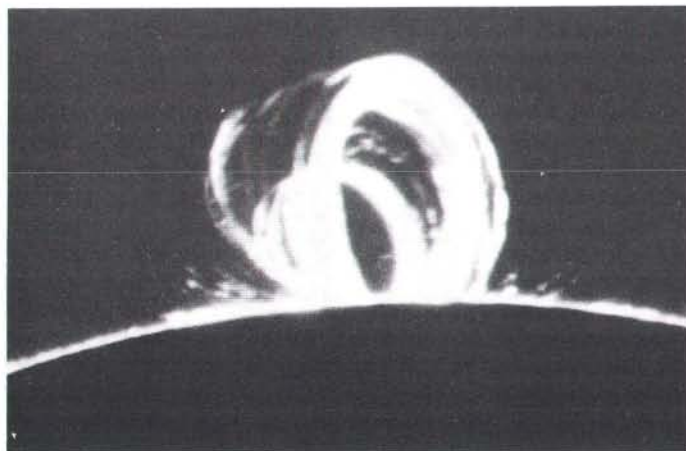
De convectieve gasbeweging in het inwendige zorgt, samen met de rotatie van de Zon, voor een mechanisme waarbij systematische stromingspatronen van het geïoniseerde gas ontstaan, wat het magneetveld zowel kan ver-

wendige bestaan. Ze worden omgeven door kringen van stromen, net zoals het magneetveld van de kringstromen van een spoel (zie fig. 3). De stroom op twee tegenover elkaar gelegen punten in een kring is tegengesteld van richting, wat betekent dat de stroom zichzelf zal afstoten. Dat geldt ook voor elk ander punt van de kring, dus zal er een netto kracht bestaan die de buis doet uitzetten. Uit de magnetohydrodynamica volgt dat het geïoniseerde gas echter niet door de wand van de buis heen kan dringen (het gas zit opgesloten in de buis). Met het uitzetten van de buis zal dus de gemiddelde dichtheid erin afnemen. Op een gegeven moment ontstaat er een evenwicht tussen de krachten die werken op het gas in de



Boven: Fig. 3. Bij een buisvormig magneetveld (aangegeven met B) hoort een kringvormige elektrische stroom I. Omdat tegengestelde stromen elkaar afstoten ondervinden tegenover elkaar liggende punten in de kring een naar buiten gerichte kracht  $F_i$ . Deze kracht, samen met de gasdruk  $P_i$  in de buis, is in evenwicht met de uitwendige gasdruk  $P_u$ . Bij gelijke temperaturen binnen en buiten de buis betekent dit dat de buis ijler is dan de omgeving (de druk is evenredig met het produkt van temperatuur en dichtheid). Daardoor ondervindt de buis een opwaartse kracht  $F_A$  die de zwaartekracht  $F_Z$  overwint: de buis gaat omhoog.

Onder: Fig. 4. De rand van de Zon toont duidelijk enkele buisvormige magnetische bogen. Deze bogen zijn tienduizenden kilometers hoog. Bij het opstijgen van een magnetische buis uit de convectiezone naar het oppervlak zullen veldlijnen via de atmosfeer, dus buiten de Zon, met elkaar verbonden blijven. De punten waar de buis aan de fotosfeer ontspringt hebben een tegengestelde (noord-zuid) polariteit. De analogie met een hoefijzer-magneet is duidelijk.



buis ( $P_i$  en  $F_i$ ) en de krachten van het omringende gas ( $P_u$ ). De dichtheid in de buis is dus lager dan daarbuiten waardoor op de buis een kracht werkt die hem laat opstijgen.

Een groot aantal buizen die bij elkaar aan het oppervlak van de Zon opduiken, kunnen één groot magnetisch gebied gaan vormen. Na enige tijd zal het veld aan het oppervlak uitdoven en verdwijnt het actieve gebied. Andere opduikende buizen zorgen dan weer voor nieuwe actieve gebieden (zie fig. 4).

Magneetvelden worden in de Zon opgewekt door koppeling van grootschalige bewegingen van het geïoniseerde gas met de rotatie van de Zon: het dynamo-mechanisme. Een magnetische boog wordt naar het oppervlak gedreven door een opwaartse kracht. Aan het oppervlak veroorzaakt het magneetveld donkere zonnevlekken. In de atmosfeer vormen zich magnetische bogen die het gas vasthouden en verhitten en daardoor voor ons zichtbaar worden.

### Een nieuw beeld van de Zon

Ons beeld van de Zon (en soortgelijke sterren) is de laatste jaren sterk veranderd. Instrumentele ontwikkelingen en satellieten hebben het mogelijk gemaakt om magneetvelden 'zichtbaar' te maken en verschillende lagen in de atmosfeer te verkennen. Recent onderzoek naar magneetvelden strekt zich ook uit naar andere sterren waaruit blijkt dat de Zon ook in dit opzicht een normale ster en een uitgelezen studieobject voor gedetailleerd onderzoek is.



## Elektromagnetisme

Elektrisch geladen deeltjes, zoals bijv. ionen en elektronen in een plasma, kunnen in een magneetveld alleen vrij bewegen indien hun snelheid dezelfde richting heeft als het magneetveld. Een elektrisch geladen deeltje dat loodrecht op het veld beweegt ondervindt een kracht ( $F_l$ ) die evenredig is met de snelheid van het deeltje ( $v_l$ ), de sterkte van het magneetveld ( $B$ ) en de grootte van de lading ( $q$ ):

$$F_l = qv_l B$$

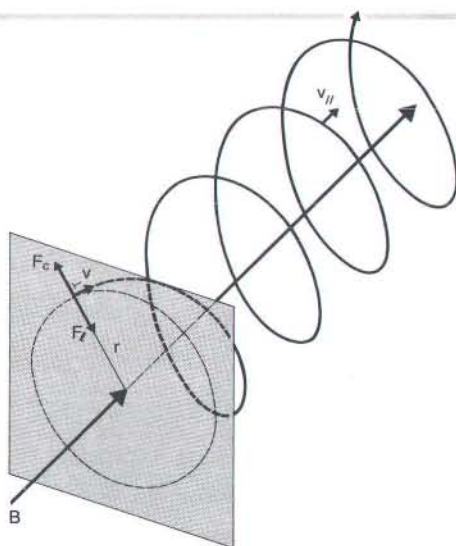
De richting van deze Lorentzkracht hangt af van het teken van de lading: elektronen en positieve ionen zullen dus een tegengestelde kracht ondervinden. In een homogeen magneetveld gaan geladen deeltjes cirkels doorlopen met een straal ( $r$ ), waarbij evenwicht bestaat tussen de naar het middelpunt van de baan gerichte Lorentzkracht ( $F_l$ ) en de naar buiten gerichte middelpuntvliedende kracht ( $F_c$ ):

$$F_l = qv_l B = \frac{mv_l^2}{r} = (F_c)$$

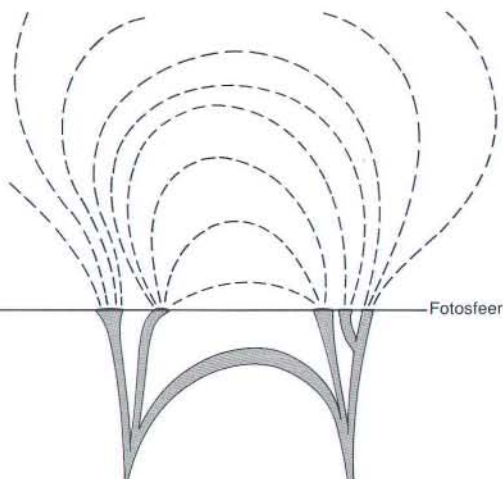
De tijd ( $T$ ) die een deeltje nodig heeft om éénmaal een cirkel te voltooien is (door substitutie):

$$T = \frac{2\pi r}{v_l} = \frac{m}{q} \cdot \frac{2\pi}{B}$$

De omlooptijd is dus afhankelijk van de aard van het deeltje (massa ( $m$ ) en lading ( $q$ )) en de sterkte van het magneetveld.



Voor een in een willekeurige richting bewegend deeltje kan de snelheid worden ontbonden in een component loodrecht op en een evenwijdig aan het magneetveld. Van de snelheidscomponent evenwijdig aan  $B$  ondervindt het geladen deeltje geen kracht, maar door de snelheidscomponent loodrecht op  $B$  wordt de cirkelbeweging omgezet in een schroefbeweging om de veldlijnen (zie de figuur). Wanneer het magneetveld gekromd is, zal het deeltje die kromming volgen: een geladen deeltje kan dus niet in alle richtingen vrij bewegen, maar de bewegingen worden door het magneetveld bepaald.

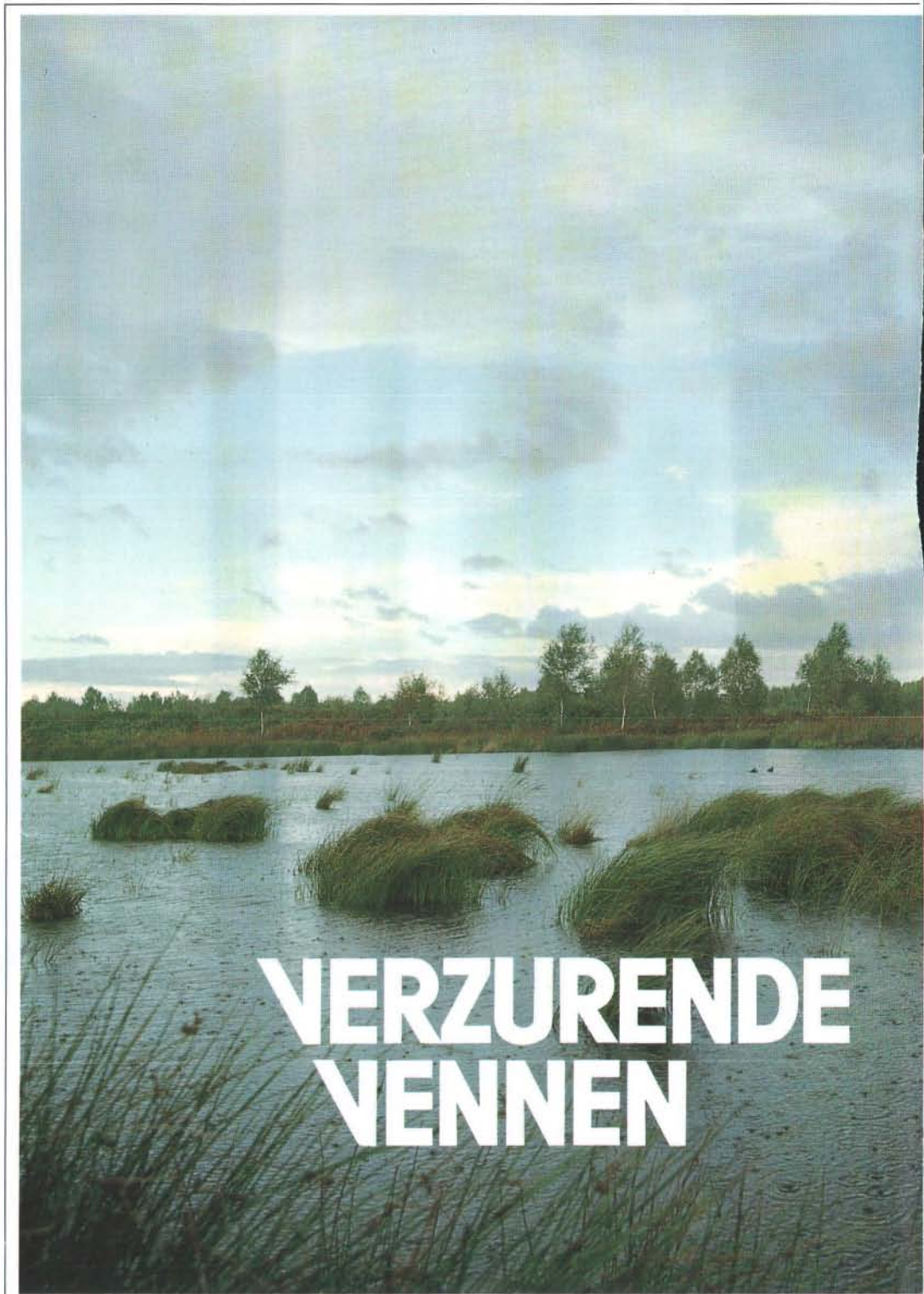


### Literatuur

- Fast, J.D., (1980). *Energie uit Atoomkernen*. Natuur en Techniek, Maastricht/Brussel. ISBN 90-70157-15-2.  
 Kuipers, J., (1979). *De actieve Zon, convectielaag en fotosfeer*. Natuur en Techniek, 47, 12, pag. 684-703.  
 Kuipers, J., (1980). *De actieve Zon, de corona*. Natuur en Techniek 48, 1, pag. 22-27.  
 Mitton, S., (red.), (1978). *Cambridge Encyclopedie van de astronomie*. Romen, Bussum. ISBN 90-228-2241-9.

### Bronvermelding illustraties

- Stichting 'De Koepel', Utrecht: pag. 828-829.  
 Archief Natuur en Techniek: pag. 831, 834-835.  
 NASA, Washington DC: pag. 832, 833 (onder).  
 Los Alamos Scientific Laboratory, Los Alamos, NM: pag. 833 (boven).  
 Sacramento Peak Observatory, Sunspot, NM: pag. 834, 838.  
 American Science and Engineering, Inc., Cambridge, Massachusetts: pag. 836-837.  
 De overige illustraties zijn afkomstig van de auteurs.



# VERZURENDE VENNEN





**J.A.A.R. Schuurkes**

**R.S.E.W. Leuven**

*Laboratorium voor Aquatische Oecologie  
K.U. Nijmegen*

**J.H.D. Vangenechten**

*Studiecentrum voor Kernenergie  
Mol*

Grote delen van de wereld zijn in de ban van een milieuprobleem zonder grenzen. Duizenden meren en rivieren verzuren. We hoeven niet langer naar Scandinavië en Noord-Amerika te trekken om kraakheldere en visloze wateren te zien. De milieumoordenaar van deze eeuw slaat ook toe in onze directe omgeving. In Nederland en België zijn bijna alle geïsoleerde kalkarme oppervlaktewateren verzuurd. Veel karakteristieke plante- en diersoorten van deze milieus dreigen uit te sterven. Slechts enkele soorten overleven de strijd tegen het zuur.



Verzurende stoffen vormen een ernstige bedreiging voor het leven in kalkarme vennen. Voor een deel komen ze er met het regenwater in terecht. Ze kunnen echter ook worden aangevoerd als gassen of in stofdeeltjes. De Oost-Amerikaanse hondsvij (inzet) is de enige vis die in zure wateren nog kan voorkomen.

# Het probleem

Alle luchtverontreiniging die de mens in de atmosfeer brengt komt na kortere of langere tijd, al dan niet chemisch omgezet, terug naar het aardoppervlak. De luchtverontreiniging is de laatste tientallen jaren sterk toegenomen. De gevolgen daarvan zijn momenteel overal ter wereld merkbaar. 'Zure regen' is een verzamelbegrip geworden voor alle luchtverontreiniging die de zuurgraad van het milieu direct of indirect beïnvloedt.

Er is een drietal gasvormige stoffen die een grote rol spelen bij de zure regen-problematiek: stikstof-oxiden ( $\text{NO}_x$ ), zwaveldioxide ( $\text{SO}_2$ ) en ammoniak ( $\text{NH}_3$ ). De twee eerste stoffen komen vrij bij de verbranding van fossiele brandstoffen zoals olie, benzine en kolen. Ammoniak verdamt uit dierlijke mest.  $\text{SO}_2$  en  $\text{NO}_x$  kunnen oplossen in het regenwater en worden omgezet in sterke zuren zoals zwavelzuur en salpeterzuur, waardoor de regen zuur-

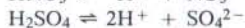
der wordt.  $\text{NH}_3$  is een base en heeft daardoor een neutraliserend effect op het regenwater. Hierbij wordt ammoniak, samen met  $\text{SO}_2$ , omgezet in ammoniumsulfaat. Toch draagt deze stof bij aan de verzuring. Als zij op de bodem of in het water terecht komt, kunnen bacteriën haar omzetten in salpeterzuur.

De term 'zure regen' is eigenlijk fout en niet dekkend voor het gehele milieuprobleem. De luchtverontreiniging hoeft immers niet zuur te zijn om de zuurgraad van het milieu te beïnvloeden. Bovendien kan naast natte neerslag (regen, sneeuw en mist) ook droge neerslag (gassen, stofdeeltjes) verzurend werken.

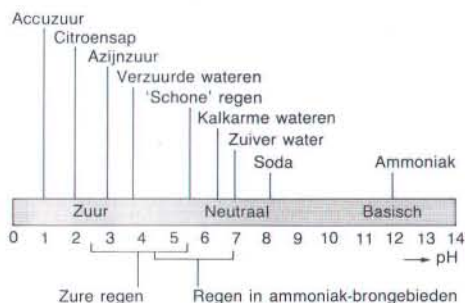
$\text{SO}_2$  en  $\text{NO}_x$  worden vaak via hoge schoorstenen in warme luchtlagen uitgestoten. Deze stoffen kunnen dan lange tijd (1 à 2 dagen) in de atmosfeer blijven en over grote afstanden getransporteerd worden. Daardoor veroorzaken ze nog ver over de grenzen milieuproblemen. Ammoniak en volprodukten verblijven meestal relatief kort in de atmosfeer,

## Zuur en zuur is twee

Citroensap is minder zuur dan accuwater, maar zuurder dan appelsap. Zuur is op zichzelf echter geen stof, maar een chemische toestand van een stof in water. Stoffen reageren immers zuur indien ze in oplossing splitsen in actieve waterstofionen ( $\text{H}^+$ ) en zuurrestionen. Een molecuul salpeterzuur splitst in  $\text{H}^+$  en een negatief nitraation ( $\text{NO}_3^-$ ). Zwavelzuurmolekulen ( $\text{H}_2\text{SO}_4$ ) vallen uiteen in een equivalente hoeveelheid tweewaardig negatieve sulfaationen ( $\text{SO}_4^{2-}$ ) en een dubbele hoeveelheid actieve waterstofionen ( $\text{H}^+$ ). Voor deze stoffen gelden de volgende reactievergelijkingen:



Over het algemeen splitsen zuren slechts voor een klein deel in ionen. Sterke zuren zoals zwavelzuur en salpeterzuur vallen voor een groter deel uiteen dan zwakke zuren zoals koolzuur. Om verschillen in de zuurgraad van een oplossing aan te geven, hebben scheikundigen het begrip pH geïntroduceerd. Maar evengoed kan de



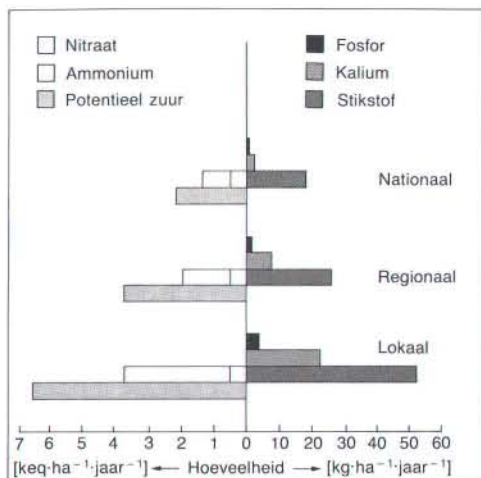
pH gebruikt worden om de zuurgraad van de regen of een oppervlaktewater aan te geven.

De pH is op het eerste gezicht een merkwaardige grootte. Hoe zuurder iets is, des te lager de pH-waarde. Omdat de pH een logaritmische eenheid is, neemt deze met één af wanneer de hoeveelheid zuur 10 maal zo groot wordt. Indien de pH van een water daalt van 6 naar 4, neemt de concentratie van actieve waterstofionen dus met een factor 100 toe. De pH-schaal loopt van





Boven: Verzuuring van oppervlaktewateren komt o.a. tot uiting in de helderheid, die in het algemeen sterk toeneemt.



Boven: Fig. 1. De grote mestproductie in het Peelgebied veroorzaakt een sterk verhoogde neerslag van verzurende en bemestende stoffen en belast hierdoor zowel lokaal als regionaal de kalk- en voedselarme natuurgebieden.

0 tot 14. In een neutrale oplossing is de pH-waarde gelijk aan 7. Bij een zure oplossing ligt deze waarde tussen 0 en 7 en bij een basische tussen 7 en 14. De hiernaast geplaatste figuur toont een goed referentiekader voor de pH-schaal.

De pH van het regenwater bedraagt in een schone omgeving 5,6 en is dus al een beetje zuur. Dit komt omdat de lucht van nature kooldioxide bevat dat in het regenwater wordt omgezet in koolzuur. In gebieden met luchtverontreinigingen kunnen  $\text{SO}_2$  en  $\text{NO}_x$  in het regenwater oplossen en reageren tot sterke zuren zoals salpeterzuur en zwavelzuur. Hierdoor kan de regen 10 tot 100 maal zuurder worden. In gebieden met veel intensieve veehouderijen resulteert de uitstoot van ammoniak in een neutralisering van de neerslag. De pH-waarde van de neerslag kan daardoor aanzienlijk stijgen en zelfs hoger worden dan in een schone omgeving. Rond de jaren vijftig hadden de zwak gebufferde wateren in Nederland en België een gemiddelde pH-waarde van omstreeks 6,5. Als gevolg van waterverzuuring is deze gedaald tot ongeveer 3,8. Deze oppervlaktewateren zijn dus ruim 500 maal zuurder geworden.

waardoor de effecten vooral op regionaal niveau optreden.

Recent onderzoek heeft aangetoond dat zure neerslag een grote invloed heeft op de chemische en biologische samenstelling van oppervlaktewateren. De gevoeligheid van het milieu voor verzurende neerslag wordt primair bepaald door het kalkgehalte. Kalk heeft het vermogen om zuur te neutraliseren en vormt een natuurlijk buffersysteem. Op de pleistoocene zandgronden in Nederland en België en in sommige duingebieden bevinden zich veel kalkarme wateren zoals vennen, kleine plassen en duinmeren. De meeste zijn volledig afhankelijk van hemelwater. Een voortdurende toevoer van verzurende stoffen veroorzaakt daar een geleidelijke afname van het kalkgehalte en leidt uiteindelijk tot verzuuring.

### Verzurende invloed van de neerslag

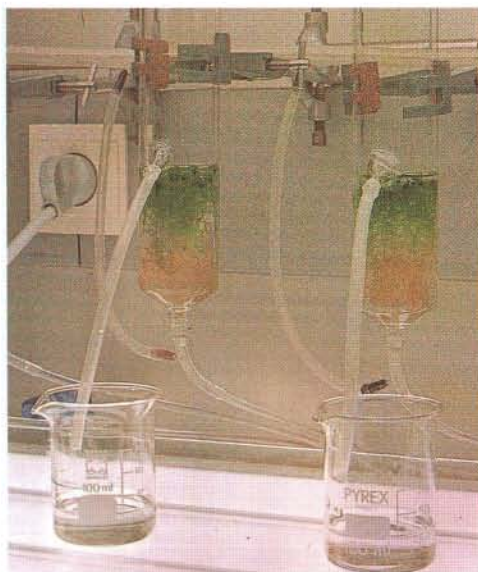
Binnen het kader van de zure neerslag-problematiek wordt veel nadruk gelegd op de zuurgraad of pH van het regenwater. Dit is echter een slechte maat. Naast de natte neerslag (regen, sneeuw en mist) komt een aanzienlijke hoeveelheid verzurende verbindingen op het aardoppervlak terecht in de vorm van gas-

sen en stofdeeltjes. Deze droge neerslag kan zelfs voor 2/3 deel bijdragen aan de totale (nat + droog) neerslag van verzurende stoffen. Dit is bijvoorbeeld het geval in gebieden met hoge ammoniakconcentraties in de lucht. Een andere belangrijke stof is ammoniumsulfaat. Vooral in gebieden waar de ammoniakconcentratie in de lucht groot is, is ook de concentratie  $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$  in het regenwater zeer hoog. In de bodem en het water kan het ammonium  $(\text{NH}_4^+)$  worden omgezet in nitraat  $(\text{NO}_3^-)$  volgens de reactie:



Bij deze omzetting worden waterstofionen gevormd. Het verzurende effect van deze omzetting van ammoniumionen is tweemaal zo groot als dat van een vergelijkbare hoeveelheid zuurionen. Omdat de omzetting echter niet altijd volledig is, is het beter om te spreken van een potentieel verzurend effect. De maximale hoeveelheid zuur die via het regenwater naar beneden kan komen wordt berekend door de hoeveelheid zuur  $(\text{H}^+)$  te vermeerderen met tweemaal de hoeveelheid ammonium  $(\text{NH}_4^+)$ .

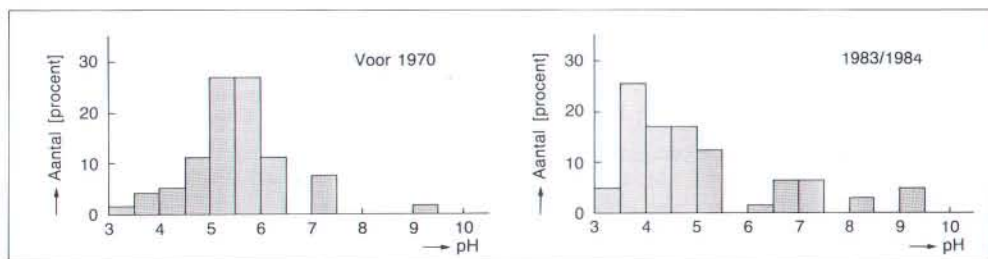
Het potentieel verzurend effect van het regenwater verschilt van land tot land (zie tabel). In Nederland is de neerslag (depositie) van potentieel zuur ruim tweemaal zo hoog als in Noord-Engeland, hoewel de depositie van zuur  $(\text{H}^+)$  veel lager is. Dit verschil wordt ver-



Boven: In deze laboratorium-opstelling wordt de opname van fosfaat bij veenmos bepaald.

Rechtsboven: In Scandinavië, in de VS en in Canada wordt de verzuring van meren soms bestreden door grote hoeveelheden kalk in het water te spuiten.

Onder: Fig. 2. De relatieve verdeling van de zuurgraad (pH) van vóór 1970 en in 1983/84 voor 63 zwak gebufferde wateren in Nederland. In 1983/84 blijkt het aantal sterk zure wateren (pH tussen 3,5 en 4,5) sterk te zijn toegenomen, terwijl het aantal zwak gebufferde wateren (pH tussen 5 en 6) is afgenomen.



TABEL: Enige gegevens over de neerslag van verzurende stoffen via het regenwater.

	Concentratie [μmol/l]		Potentieel verzurend effect [mol/ha/jaar]	Aandeel [procenten]	
	H <sup>+</sup>	NH <sub>4</sub> <sup>+</sup>		H <sup>+</sup>	NH <sub>4</sub> <sup>+</sup>
Noord-Engeland	40	19	934	51	49
Zuid-Noorwegen	69	42	1432	46	54
Nederland	27	171	2068	16	84





oorzaakt door de hoge ammoniumconcentraties. Deze blijken in Nederland gemiddeld voor ruim 80 procent verantwoordelijk te zijn voor het potentieel verzurende effect van het regenwater. Het is aannemelijk, dat de situatie in België op vele plaatsen vergelijkbaar is met die in Nederland. Voor de in de tabel genoemde landen blijkt het verzurende effect van het regenwater sterk te verschillen, maar de pH van regenwater verschilt er nauwelijks en ligt gemiddeld tussen 4,3 en 4,5.

#### **Dierlijke mest en belasting van het milieu**

In Nederland heeft de enorme produktie van dierlijke mest geleid tot overbemesting. Op akkers gedumpte drijfmest is meer dan nodig is voor de groei van de gewassen (mais). Daardoor verdwijnt een aanzienlijk deel van de voedingsstoffen via het bodemwater of de lucht. Vooral gebieden met veel intensieve veehouderijen kennen zo een sterke belasting van het milieu. Drijfmestakkers, kippen- en varkensstallen zijn de belangrijkste bronnen. Vooral ammoniak ( $\text{NH}_3$ ) is in deze gebieden in zeer hoge concentraties in de atmosfeer aanwezig. Deze stof heeft via de neerslag zowel een verzurende als een bemestende invloed, terwijl fosfor en kalium, die eveneens voorkomen, uitsluitend bemestend werken.

In het Peelgebied op de grens van Noord-Brabant en Limburg is de neerslag van deze stoffen via het regenwater op diverse plaatsen onderzocht. De hoeveelheid (potentieel) zuur die via het regenwater omlaag komt is daar 2 à 3 maal zo hoog als het Nederlandse gemiddelde en bedraagt 4000 tot 6600 mol per hectare per jaar. Dat is vergelijkbaar met 360 tot 600 liter geconcentreerd zoutzuur. Jaarlijks komt er 28-52 kg stikstof per hectare op bodem en water terecht, waarvan 75 tot 90 procent als ammoniak en ammonium. Gemiddeld voor Nederland is dit 60 procent. De fosfor- en kaliumbelasting via het regenwater is respectievelijk 1,2-2,8 en 12-22 kg per hectare per jaar. Ook dit is een veelvoud van de hoeveelheden elders in het land. In de Belgische Kempen is de situatie enigszins vergelijkbaar.

#### **Bewijzen voor recente verzuring**

De meeste kalkarme wateren zijn momenteel extreem zuur. Dit betekent echter niet per sé dat de lage pH van deze wateren een direct gevolg is van verzurende luchtverontreiniging. Vennen en plassen in hoogveen gebieden zijn vaak van nature al enigszins zuur.

Men kan echter op verschillende manieren aantonen dat de verzuring van veel oppervlaktewateren juist in de laatste decennia heeft

## Buffersystemen

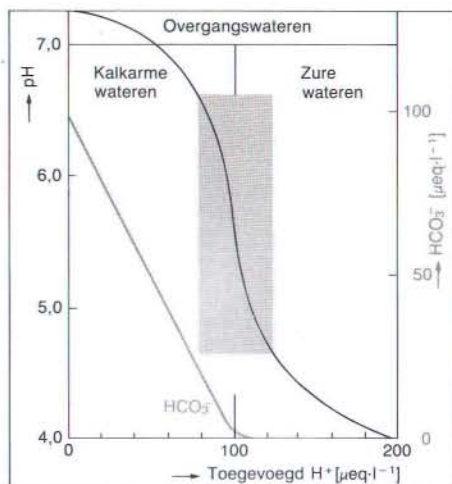
Buffermengsels zijn oplossingen die aan twee eisen voldoen:

1. de pH verandert slechts weinig bij toevoeging van zuur- of base-ionen;
2. de pH blijft bij verdunning praktisch onveranderd.

Deze mengsels bestaan vaak uit een oplossing van een zwak zuur en een zout van dat zwakke zuur. In oppervlaktewateren werken alle zuurrestionen van zwakke zuren en veel organische stoffen neutraliserend. Het neutraliserend vermogen van natuurlijke systemen wordt vrijwel volledig bepaald door het kalkgehalte (carbonaat-bicarbonaat-buffersysteem). In humusrijke en/of zure wateren met een pH-waarde lager dan 5,5, kunnen ook organische stoffen (humuszuren) en metalen een belangrijke bijdrage leveren aan de buffercapaciteit. Bij het (bi)carbonaat-buffersysteem zijn de volgende reacties van belang:



Door toevoeging van zuurionen verschuiven de evenwichten naar rechts. Dit kan uiteraard voortgaan zolang (bi)carbonaationen aanwezig zijn in het water. De *alkaliniteit* of *buffercapaciteit* van een systeem is gedefinieerd als de hoeveelheid sterk zuur die nodig is om het water vanaf zijn oorspronkelijke pH-waarde te brengen op een pH-waarde van 4,2 (het koolzuur-



equivalentiepunt). Deze pH-waarde is bij benadering ook de drempelwaarde voor een goed verloop van vele biochemische processen. De alkaliniteit is dus een maat voor de maximale capaciteit van natuurlijk water om zure verbindingen te neutraliseren, zonder dat daarbij extreme verstoringen van biologische activiteiten optreden. Het zal duidelijk zijn dat de alkaliniteit van groot belang is bij de bepaling van de gevoeligheid van oppervlaktewateren voor verzuring. Men kan waterverzuring immers beschouwen als een continu proces dat vergelijkbaar is met een groot-

plaatsgehad. Voor talrijke wateren zijn immers resultaten van chemische metingen uit het verleden beschikbaar en deze kunnen vergeleken worden met recentere gegevens. Figuur 2 toont voor 63 kalkarme wateren in Nederland de procentuele verdeling van de gemiddelde zuurgraad over twee perioden. Vóór 1970 waren de meeste kalkarme wateren nog zwak zuur (pH waarden tussen 5 en 6). In 1983/84 lag de pH-waarde van het grootste gedeelte van de wateren beneden 5. Hieruit blijkt dat veel oorspronkelijk zwak zure wateren ernstig verzuurd zijn.

Voor een twintigtal wateren zijn gedetailleerde tijdreeksen van de chemische samenstelling opgesteld.

Indien geen chemische gegevens beschikbaar zijn, kunnen biologische indicatoren van essentieel belang zijn voor de bewijsvoering van recente verzuring. Veel plante- en diersoorten overleven alleen in basische tot zwak zure milieus en verdwijnen als gevolg van ernstige verzuring. Omdat de kalkarme wateren in het verleden vaak een karakteristieke en zeldzame flora en fauna herbergden, zijn veel oude inventarisatiegegevens beschikbaar. Vergelijking van de huidige situatie met die van vroeger toont aan dat in veel wateren plante- en diersoorten zijn verdwenen en een verschuiving is opgetreden naar zuurminnende soorten. Bovendien geven ook overblijfselen van plant-aardig en dierlijk materiaal in de bodem, zoals



schalig toevoegen van een sterk zuur aan een (bi)carbonaatoplossing. De primaire verwerking van bodemmateriaal zorgt daarbij voor (bi)carbonaat en de neerslag voor zuren of verzurende stoffen. De figuur toont een zgn. titratiecurve voor een oplossing met een beginconcentratie van  $100 \mu\text{eq HCO}_3^- \cdot \text{l}^{-1}$ . Indien geen netto zuurproductie in het systeem plaatsvindt, is het verloop van de pH-curve illustratief voor het verzuringsproces. In deze curve zijn drie stadia te onderscheiden. Tijdens het eerste stadium neemt als gevolg van het toevoegen van zuur de alkaliniteit af, terwijl het resterende bicarbonaatgehalte voldoende is om het water te bufferen tot een pH boven 5,5. Wanneer het bicarbonaatbuffersysteem vrijwel verdwenen is (overgangswateren), resulteren reeds kleine zuurtoevoegingen in grote fluctuaties van de zuurgraad. Tijdens dit stadium kunnen grote fysisch-chemische en biologische veranderingen optreden in oppervlaktewateren. Tijdens het eindstadium van het verzuringsproces is alle buffercapaciteit verdwenen en blijft de pH gewoonlijk beneden een waarde van 4,5 (zure wateren). In deze wateren nemen de metaalconcentraties (vooral aluminium, ijzer en mangaan) toe en kunnen ook metalen bufferend gaan werken. De titratiecurve voor bicarbonaat toont de pH-veranderingen van een systeem met één bepaalde buffercapaciteit dat wordt blootgesteld aan verzuren-de neerslag.

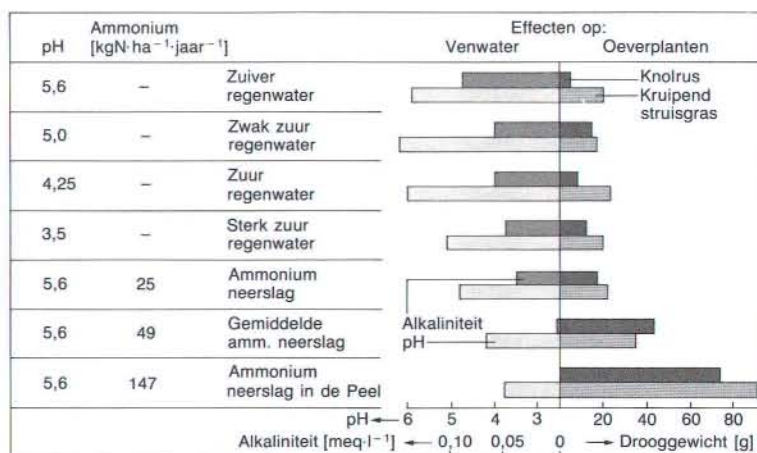
zaden, kalkskeletjes van kiezelwieren en kopskapsels van muggelarven, vaak goede indicaties voor verzuring.

Op grond van veranderingen in de samenstelling van waterplanten, kiezelwieren en vispopulaties hebben verschillende onderzoekers kunnen aantonen dat minimaal 70 procent van de kalkarme wateren verzuurd is. Worden hierbij ook de historische en recente chemische gegevens betrokken dan kan dit percentage zelfs oplopen tot 90 procent.

### Berekeningsexperimenten

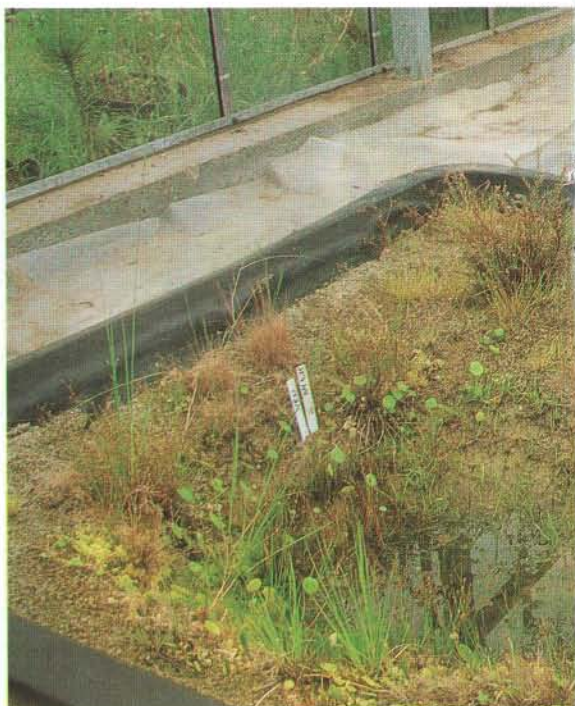
Vele onderzoeksresultaten uit Nederland en België geven aan dat er een duidelijk verband is tussen de verzuring van zwak gebufferde wateren en de toegenomen uitstoot en neerslag van verzurende stoffen. Het betreft hier echter uitsluitend veldwaarnemingen, die tussen oorzaken en effecten slechts verbanden suggereren. Een experimentele benadering maakt het mogelijk om de relatie tussen oorzaak en effect onomstotelijk aan te tonen. Daarvoor zijn met name berekeningsexperimenten geschikt. Een dergelijk experiment is uitgevoerd met nagebootste kalk- en voedselarme venmilieus. Onder gecontroleerde omstandigheden worden deze mini-ecosystemen berekend met de twee belangrijkste verzurende stoffen, namelijk zwavelzuur en ammoniumsulfaat. Door de toevoer van deze twee typen neerslag per venmilieu te variëren kunnen dosis-effectrelaties oorzakelijk worden aangetoond.

Fig. 3. Berekeningsexperimenten met op kleine schaal nagebootste kalkarme venmilieus geven duidelijk aan wat oorzaak en gevolg is. Sterk zuur regenwater leidt tot een verzuring van het venwater. In de vergelijkbare periode (6 maanden) heeft stikstof in de vorm van ammoniumsulfaat echter veel grotere gevolgen. Het venwater verzuurt tot  $\text{pH} = 3,8$ , de stikstofminnende oevervegetatie breidt zich sterk uit en overwoekert vanaf de oever het ven.

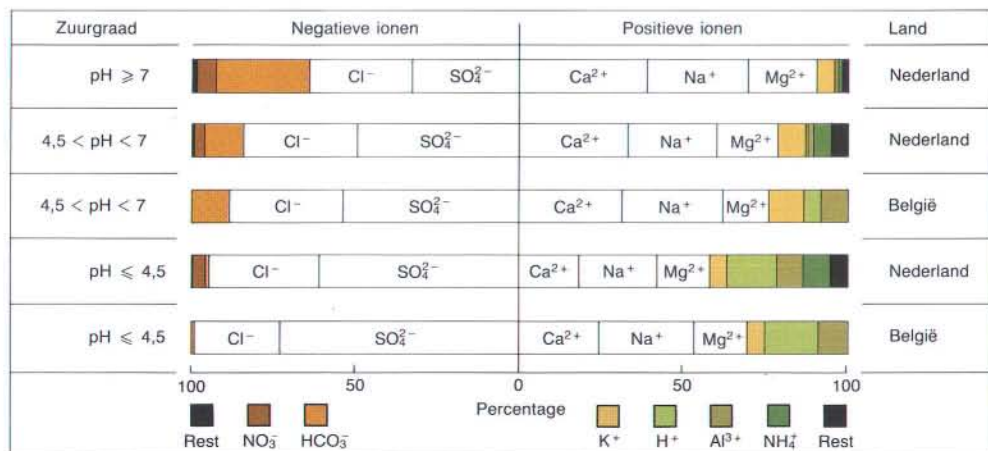


Figuur 3 geeft de resultaten betreffende de pH en het bicarbonaatgehalte van het water en de vegetatiesamenstelling. Berekening met (zwavel-)zuur regenwater leidt alleen tot duidelijke veranderingen wanneer de pH van het regenwater 3,5 is, dus zuurder dan het huidige regenwater. De pH van het venwater wordt dan circa 5,1 en de ondergedoken en oevervegetatie verandert nauwelijks. Berekening met ammoniumsulfaat blijkt een veel grotere invloed te hebben op pH en vegetatie. Wanneer de neerslag van deze verzurende verbinding overeenkomt met die van het Peelgebied, verzuurt het venwater tot  $\text{pH} = 3,8$ . Het valt op dat het bicarbonaatgehalte of bufferend vermogen (zie intermezzo II) van het water bij iedere verzurende behandeling afneemt of zelfs geheel verdwijnt.

Naarmate de toevoer van ammoniumsulfaat hoger is, wordt het water zuurder. Dit wordt veroorzaakt door het verzurende nitrificatieproces, waarbij ammonium door micro-organismen in het sediment wordt omgezet in nitraat. Deze microbiële omzetting wordt onder zure condities geremd en lijkt te stagneren bij  $\text{pH} = 3,8$ . Een voortdurende toevoer van ammonium leidt hierbij tot een ophoping (accumulatie) van deze stikstofvorm. Onder deze verzuurde en met ammonium verrijkte condities neemt de biomassa van stikstofminnende, periodiek ondergedoken oeverplanten zoals kruipend struisgras en knolrus sterk toe. Ondergedoken waterplanten verdwijnen onder deze omstandigheden. De combinatie met stik-



Onder: Fig. 4. De gemiddelde verdeling van positieve en negatieve ionen in drie categoriën kalkarme wateren met verschillende zuurgraad. Zowel voor de Nederlandse als Belgische wateren geldt dat verzuring grote verschuivingen in de ionenbalans veroorzaakt. Opvallend is de opkomst van de sulfaat-ionen, grotendeels ten koste van het bicarbonaat. Bij de positieve ionen vallen vooral  $\text{H}^+$  en  $\text{Al}^{3+}$  op.







Links: In een kas worden, op kleine schaal nagebootste venntjes en duinplassen berekend met synthetisch bereid regenwater van verschillende samenstelling.

Onder: Veenmos (*Sphagnum* sp.) komt zelden voor in kalkarme wateren. Onder invloed van de verzuring echter, verdringt deze plant de oorspronkelijk aanwezige waterplanten.



stofverrijking leidt er tevens toe dat de ondergedoken soorten vanaf de oeverzone weggeconcentreerd kunnen worden door snelgroeiende oeverplanten.

De resultaten van dit berekeningsexperiment stemmen overeen met veldwaarnemingen op vele plaatsen in Nederland en België. Dit geeft aan dat vooral regionaal de neerslag van verzurende verbindingen in de vorm van ammoniumsulfaat een grote rol heeft gespeeld bij de veranderingen in waterkwaliteit en vegetatiesamenstelling van vele verzuurde wateren. Bovendien wordt duidelijk dat een toenemende neerslag van deze verzurende verbindingen leidt tot een verdere verzuring en stikstofverrijking van water en bodem.

### Verzuring en waterkwaliteit

De veranderingen in de chemische samenstelling van verzurende oppervlaktewateren blijven niet beperkt tot een toename van de zuurgraad en een afname van het kalkgehalte of de buffercapaciteit. De neutralisering van zuurionen door het (bi)carbonaat-buffersys-

teem gaat gepaard met de produktie van koolzuurgas ( $\text{CO}_2$ ). In wateren met een kalkhoudende bodem gaan bij verzuring de calcium- en magnesiumcarbonaten in oplossing. Ook deze reacties veroorzaken een verhoging van de  $\text{CO}_2$ -concentratie in de bodem en het water. Als door verzuring alle (bi)carbonaat en kalk is verdwenen, neemt de koolzuurconcentratie weer drastisch af.

Relatieve verschillen in de chemische samenstelling van wateren worden vaak weergegeven met ionenbalansen. Figuur 4 toont de ionenbalansen voor kalkarme wateren met verschillende zuurgraad. De gemiddelde procentuele verdeling van positieve en negatieve ionen (kat- en anionen) in wateren uit eenzelfde pH-klasse stemmen voor Nederland en België goed met elkaar overeen. In niet verzuurde kalkarme wateren ( $\text{pH} \geq 7$ ) is calcium het dominante kation, hoewel ook natrium- en magnesiumionen in vrij grote hoeveelheden voorkomen. In deze wateren zijn (bi)carbonaat, sulfaat en chloride de belangrijkste negatieve ionen. Bij verzuring wordt sulfaat het dominante anion, terwijl het relatieve aandeel van

(bi)carbonaat afneemt en het aandeel van chloride gelijk blijft. Ook bij kationen treden grote verschuivingen op als gevolg van verzuring. In verzurende wateren domineert natrium, terwijl het relatieve aandeel van waterstofionen, ammonium en aluminium sterk toeneemt (voor de Belgische situatie zijn geen gegevens beschikbaar over ammoniumgehalten in kalkarme wateren).

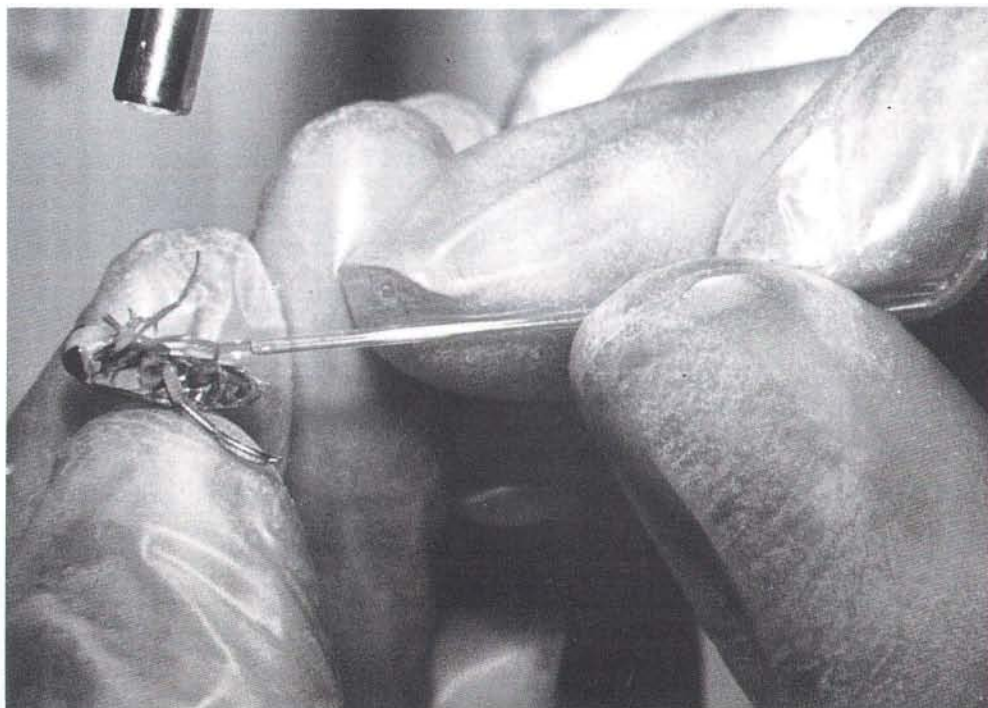
Het spreekt vanzelf dat niet alleen de procentuele verdeling van ionen, maar ook de absolute concentraties belangrijk zijn. De concentratie van de meeste anionen en kationen is in zure wateren relatief laag. De hoeveelheid opgeloste voedingsstoffen (o.a. koolstof en fosfaat) neemt over het algemeen af bij verzuring, terwijl de ammoniumconcentratie sterk toeneemt. In verzuurde wateren wordt ammonium de belangrijkste stikstofbron. Ook het gehalte van (zware) metalen zoals mangaan, ijzer, cadmium en aluminium neemt sterk toe. Deze stoffen zijn normaal aan bodemdeeltjes gebonden maar gaan onder zure omstandigheden in oplossing.

Waterverzuuring heeft ook grote invloed op

de bacteriële afbraak van organisch materiaal. Onder zure omstandigheden worden afbraakprocessen overgenomen door schimmels. Daardoor vermindert de afbraaksnelheid. Onder natuurlijke omstandigheden leidt dit tot een enorme ophoping van afgestorven en/of ingewaaid organisch materiaal op het sediment. Dit heeft uiteraard grote invloed op de kringloop van voedingsstoffen.

### Effecten op planten en dieren

De hierboven beschreven veranderingen in zuurgraad, koolzuurhuishouding en ionensamenstelling hebben uiteraard vérgaande gevolgen voor de karakteristieke plante- en diersoorten van zwak gebufferde wateren. Vele soorten verdwijnen hierdoor terwijl andere soorten onder de veranderde omstandigheden in leven blijven: zuurtolerante soorten nemen toe. De oorspronkelijke en karakteristieke verscheidenheid aan planten en dieren verdwijnt. De verzuurde wateren zijn relatief soortenarm en vertonen een grote overeenkomst wat betreft de daarin voorkomende soorten.





Planten en dieren reageren verschillend op de veranderingen in watersamenstelling. Voor planten zijn, naast de toename van de zuur ( $H^+$ )-concentratie, vooral de veranderingen in de voedingsstoffenhuishouding (koolstof en stikstof) van belang. Bij dieren worden vele fysiologische processen direct beïnvloed door hoge concentraties zuur en zware metalen. Het voorkomen van bepaalde soorten kan natuurlijk ook indirect beïnvloed worden door het ontbreken van natuurlijke vijanden of (bij dieren) het verdwijnen van de voedselbron.

In de meeste niet-zure kalk- en voedselarme wateren wordt de vegetatie van oorsprong gedomineerd door een variatie aan soorten uit het *oeverkruidenverbond* zoals oeverkruid, waterlobelia en waterbiesvaren. Deze soorten hebben speciale aanpassingen die hen in staat stellen om te groeien onder dergelijke omstandigheden. Sinds de jaren vijftig is het aantal groeiplaatsen sterk afgenomen. In Nederland werden de waterbiesvaren en waterlobelia in 1983 nog slechts op één plaats gevonden; oeverkruid komt in het binnenland momenteel nog slechts op een tiental plaatsen voor. Waar



Links: Bij experimenten met (zuur-tolerante) waterwantsen wordt het bloed geprikt om de ionensamenstelling ervan te bepalen.

Boven: In dit meertje in westelijk Ierland groeit en bloeit de waterlobelia nog volop. Deze karakteristieke waterplant is uit bijna alle zwak gebufferde en voedselarme wateren van Nederland en België verdwenen.

vroeger deze soorten domineerden, worden tegenwoordig op veel plaatsen alleen knolrus en veenmos aangetroffen, of ontbreken ondergedoken waterplanten helemaal. Als gevolg van waterverzuring breiden deze soorten zich gedurende de laatste decennia sterk uit in Nederland en België, vaak ten koste van de oorspronkelijke soorten uit het oeverkruidenverbond. Kweekexperimenten en voedingsstoffenopnameproeven hebben aangetoond dat het zuurder worden van het water alléén geen direct effect heeft op de vegetatieverandering. Wel blijken de door verzuring veroorzaakte veranderingen in de koolzuur- ( $CO_2$ ) en stikstof- (N) huishouding van belang te zijn. Deze voedingsstoffen zijn essentieel voor de groei van alle planten. De met verzuring gepaard gaande verhoging van de ammonium- ( $NH_4^+$ ) concentratie is ongunstig voor het oeverkruid, terwijl knolrus en veenmos juist profiteren van deze omstandigheden. Ook door de tijdelijke toename van de koolzuur- ( $CO_2$ ) concentratie blijken beide soorten zeer snel te groeien en kunnen ze de oeverkruidenvegetatie weg concurreren. Veenmos heeft bovendien het voordeel dat het schaars aanwezige fosfaat ( $PO_4^{3-}$ ) onder zure omstandigheden optimaal wordt opgenomen.

De combinatie van verzuring en stikstofverrijking veroorzaakt tevens een sterke toename van een stikstofminnende zuur-tolerante oevervegetatie. Vooral pitrus en een aantal grassoorten breiden zich sterk uit onder dergelijke omstandigheden (zie beregeningsexperimenten).

Niet alleen de waterplantensamenstelling verandert. Ook de microscopisch kleine planten (microflora) en dieren (microfauna) zijn gevoelig voor verzuring. Het aantal soorten neemt vooral af onder de groen-, blauw- en kiezelwieren. De samenstelling verandert bovendien in de richting van zuurminnende soorten. Op de bodem van verzuurde wateren treedt vaak een massale ontwikkeling op van enkele draadwiersoorten. Bij de microfauna verandert de soortensamenstelling ook, maar de soortenrijkdom vermindert nauwelijks.

De verschillen tussen niet zure, kalkarme en verzuurde wateren zijn aanzienlijk als we kijken naar wat grotere dierlijke organismen (macrofauna). Slakken, mosselen en schaaldieren komen algemeen voor in niet-zure wateren. Bij verzuring verdwijnen deze soorten



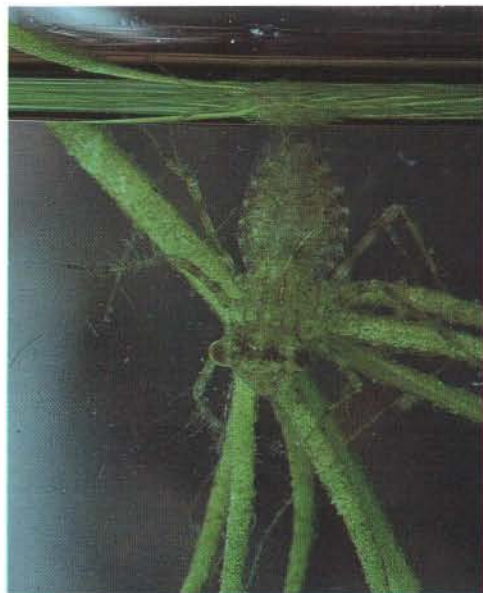
echter, omdat de opbouw van hun schaal bemoeilijkt wordt. Ook de meeste wormensoorten en bloedzuigers overleven de verzuurde omstandigheden niet. Van sommige diergroepen, zoals platwormen en larven van kokerjuffers en haften, blijven slechts enkele soorten over. Waterwantsen zoals het bootsmannetje en de ruggezwemmer, libellelarven, waterkevers en muggelarven worden in het algemeen in vrij grote aantallen in verzuurde wateren aangetroffen. Anders dan in niet-zure milieus, domineren ze dikwijls in het zure water. Blijkbaar profiteren ze op de één of andere manier van de veranderde omstandigheden. Het ontbreken van natuurlijke vijanden speelt hierbij een belangrijke rol.

Laboratoriumonderzoek heeft aangetoond dat waterwantsen over een fysiologisch aanpassingsmechanisme beschikken, dat hen in staat stelt de stress-situatie van zuur water te overleven. Het betreft hier een aanpassing van de ionenopname en -afgifte van het bloed, waardoor de zout- ( $\text{Na}^+$  en  $\text{Cl}^-$ ) balans in het bloed behouden blijft. Ook kan het rendement van het ionenopnamesysteem worden verhoogd bij hoge zuur- of aluminiumconcentratie. Een ander belangrijk voordeel voor deze dieren is het feit dat ze luchtademers zijn: ze nemen een luchtbel mee vanaf het oppervlak

en houden die gevangen tussen haartjes. Door dat ze gebruik maken van dit principe van de 'fysische kieuw', kennen de waterwantsen geen ademhalingsproblemen onder zure condities. Dit in tegenstelling tot de meeste zuurgevoelige vissen die ademen via de normale kieuwen.

In de niet-zure kalkarme wateren worden ongeveer twintig verschillende vissoorten aangetroffen. Bij verzuring echter verdwijnen de meeste soorten, waaronder de grote modderkruiper, een in Nederland beschermde soort. Alleen de geïntroduceerde Noord-Amerikaanse hondsvijl komt regelmatig voor in extreem verzuurde wateren.

Het verdwijnen van zoetwatervissen uit verzuurde milieus wordt meestal veroorzaakt door een aantal factoren die hier in het kort worden behandeld. Ten eerste neemt de productie van slijm op de kieuwen toe onder zure omstandigheden én bij hoge aluminiumconcentraties. Hierdoor wordt de zuurstofopname van het bloed verminderd en ontstaan ademhalingsproblemen. Ook blijkt de opname en afgifte van ionen zoals  $\text{Na}^+$  en  $\text{Cl}^-$  verstoord te worden, waardoor een tekort aan zouten in het lichaam ontstaat. Verzuring verstoort vele fysiologische processen direct of indirect, waardoor de vissen uiteindelijk doodgaan.





Rechts: Deze libel is een van de fraaiste insecten die bij kalkarme vennen gevonden kan worden.

Geheel linksonder: In verzuurde milieus vindt men o.a. libelle-larven (hier de larve van *Libellula depressa*). Deze soort is in Nederland algemeen, maar is karakteristiek voor zure vennen.

Linksonder: De heikikker *Rana arvalis* is een karakteristieke bewoner van kalkarme wateren.



Links: In verzuurde wateren treedt beschimmelings (de dunne witte draden om de eieren) op van amfibie-eieren. Bij een pH van 4 of lager is het beschimmelingspercentage zelfs circa 100 procent.

Een andere belangrijke factor is de vermindering van de voortplanting. De produktie van kuit neemt sterk af en de ontwikkeling van het jonge broed wordt geremd. Juist deze jonge ontwikkelingsstadia zijn het meest zuurgevoelig. Naast deze directe effecten kan een vispopulatie ook afnemen doordat er bijvoorbeeld een tekort aan voedsel ontstaat. De enige zuur-tolerante vissoort in West-Europa, de hondsvij, heeft bepaalde fysiologische aanpas-



singen waardoor deze in extreem zure wateren kan overleven. Belangrijk hierbij is de aanwezigheid van een luchtblaas. Onder zure omstandigheden neemt de luchtblaas de ademhalingsfunctie van de kieuwen over, zodat het kieuwdeksel gesloten kan blijven. Op deze manier kan het verlies van zouten (via de kieuwen) beperkt worden.

Waterverzuring heeft ook gevolgen voor de aanwezige amfibieën. In een zuur milieu (pH kleiner dan 4,5) beschimmelen vrijwel alle eieren. Laboratoriumproeven hebben bovendien aangetoond dat in zuur water en bij hoge aluminium-, cadmium- en ammoniumgehalten een grote sterfte van eieren (embryos) en larven optreedt. Ook hier gaan vele dieren al in een vroeg ontwikkelingsstadium dood. Dit veroorzaakt een vermindering van het voortplantingssucces waardoor op den duur het aantal dieren plaatselijk sterk kan afnemen. Wanneer er zich vanuit de omgeving geen nieuwe dieren vestigen kan een bepaalde soort zelfs helemaal verdwijnen. Vooral de heikikker, die voor zijn voortplanting afhankelijk

Onder: Vervaagende verzuring leidt tot heldere wateren waarin slechts enkele zuur-tolerante organismen kunnen overleven.

Rechts: Een methode om verzuring tegen te gaan is het ontzwellen van alle rookgassen van elektriciteitscentrales. We kijken hier op een daarvoor gebouwde installatie bij een centrale in Pennsylvania (VS).



is van kalkarme wateren wordt hierdoor op vele plaatsen ernstig bedreigd.

Het is aannemelijk dat bij verzuring ook de samenstelling van de aanwezige vogelsoorten verandert. Dit geldt met name voor watervogels die voor hun voedsel afhankelijk zijn van planten en dieren onder water. Wanneer er geen vis meer aanwezig is, verdwijnen fuut en ijsvogel. Door het ontbreken van plantaardig materiaal onder water verdwijnt mogelijk de tafeleend, terwijl de kuifeend kan profiteren van de vaak in grote aantallen aanwezige waterinsecten. Een ander, meer sluipend, effect kan veroorzaakt worden door de ophoping van zware metalen in planten en dieren van zure wateren. Mogelijk wordt hierdoor het voortplantingssucces van broedvogels vermindert.

#### Toekomstperspectief

Zowel in Nederland als in België worden in toenemende mate gevolgen van luchtverontreiniging waargenomen. Terwijl nog volop wordt





gediscussieerd over de oorzaken van de bossterfte en de vergrassing van de heide, gaat de aftakeling van ons milieu gewoon door. Talrijke onafhankelijke onderzoeken naar de effecten van zure neerslag op oppervlaktewateren hebben dezelfde resultaten opgeleverd. Op de kalk- en voedselarme zandgronden zijn honderden zwak gebufferde wateren verzuurd met alle gevolgen van dien. Veel van deze wateren zijn in het verleden aangewezen als natuurreservaten, om ze te beschermen tegen allerlei schadelijke invloeden. Het gangbare natuurbeheer staat machteloos tegenover de catastrofale gevolgen van zure en stikstofhoudende neerslag. Een verdergaande verzuring kan alleen worden tegengegaan door de uitstoot van zuurvormende stoffen op zeer korte termijn drastisch te verminderen. Gezien het grensoverschrijdende karakter van de  $\text{NO}_x$ - en  $\text{SO}_2$ -uitstoot is een internationale aanpak vereist. De verblijftijd van  $\text{NH}_3$  (ammoniak) in de atmosfeer is relatief kort en veroorzaakt derhalve vooral lokale en regionale effecten. Een landelijk emissieplafond (maximaal toe-

gestane uitwerp) voor ammoniak geeft geen enkele garantie voor de verbetering van de water- en bodemkwaliteit. Alleen regionale normstellingen voor de ammoniakuitstoot zullen resultaat opleveren. Behoud van onze natuur kan op lange termijn slechts gegarandeerd worden door vergaande energiebesparing, efficiënter energiegebruik en ontwikkeling van meer milieuvriendelijke energiebronnen en landbouwmethoden.

Bovendien is er haast bij de bestrijding van de gevolgen. Hiervoor moet een effectief beheer ontwikkeld worden, dat erop gericht is de steeds schaarser wordende levensgemeenschappen van voedsel- en kalkarme milieus te behouden. Veel mensen denken dat de verzuringsproblemen zijn opgelost na een sterke vermindering van de uitstoot van verzurende stoffen. Dit is echter een illusie. Verzuringprocessen zijn waarschijnlijk niet omkeerbaar. Eenmaal verzuurde oppervlaktewateren blijven zuur.

Er is nog veel experimenteel onderzoek nodig naar de mogelijkheid van restauratie en naar randvoorwaarden voor een effectief herstel van verzuurde oppervlaktewateren.

#### Literatuur

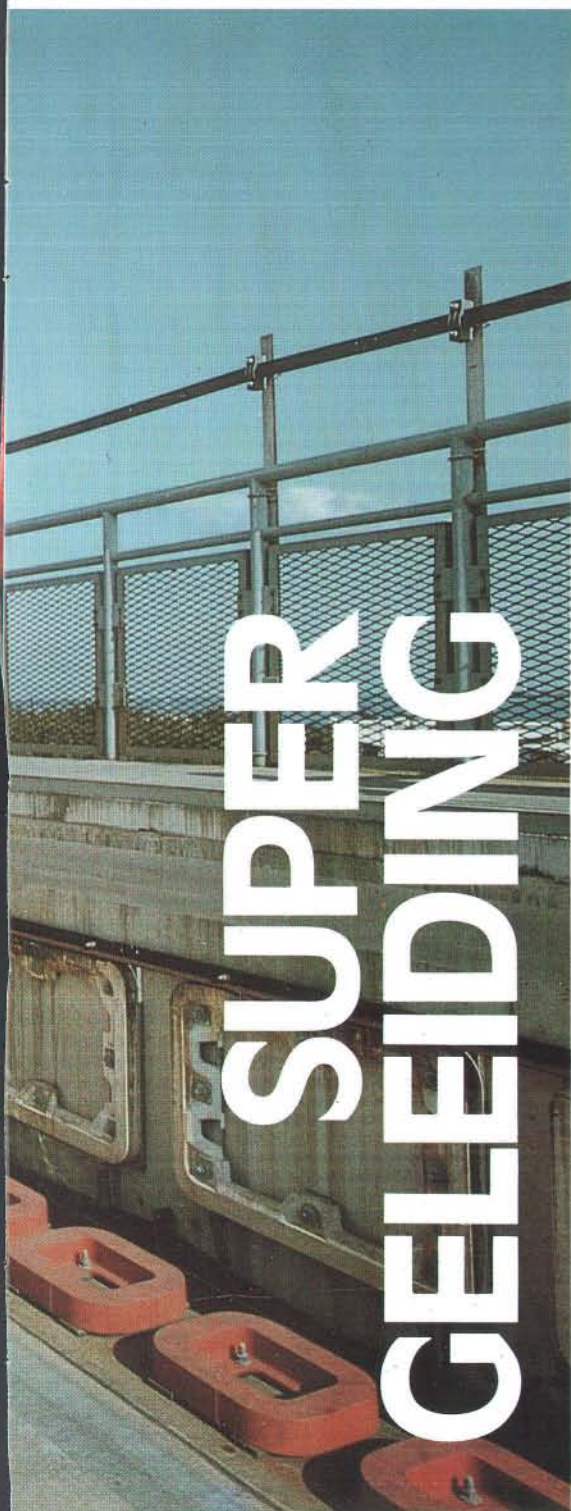
- Adema, E.H., J. van Ham (red.), (1984). *Zure regen; oorzaken, effecten en beleid*. Proceedings Symposium 's-Hertogenbosch, 17-18 nov. 1983. Pudoc, Wageningen, ISBN 90-220-0851-7.
- Leuven, R.S.E.W., J.A.A.R. Schuurkes, (1984). *Effecten van zure, zwavel- en stikstofhoudende neerslag op zwak gebufferde en voedselarme wateren*. Ministerie van Volkshuisvesting, Ruimtelijke Ordening en Milieubeheer, Publicatiereeks Lucht, nr. 47, ISBN 90-346-0544-2.
- Poortinga, G., (1984). *Zure regen, kwaadaardige bedreiging van ons welzijn*. Elsevier, Amsterdam/Brussel, ISBN 90-10-05383-0.
- Ulrich, B., (1984). *Wouden onder stress - Sterven onze groene longen?* Natuur en Techniek, 52, 8, pag. 582-601. Cat. nr. 84081.
- Vanderborght, O.L.J. (red.), (1984). *Acid deposition and the sulphur cycle*. Proceedings Symposium Brussel, 6 juni 1984. SCOPE, België.

#### Bronvermelding illustraties

- Jan van de Kam, Griendtsveen: pag. 840-841.
- Ted Spiegel, Black Star/Transworld Features Holland, Haarlem: pag. 843, 845, 855.
- Dick Klees, Duiven: pag. 849 (rechts), 852, 853 (boven).
- Alle overige foto's zijn afkomstig van de auteurs.







**P.J.M. van Bentum**

*Fysisch Laboratorium  
Katholieke Universiteit Nijmegen*

## Nulpunt technologie

Bijna 75 jaar na de ontdekking is de supergeleiding toe aan een tweede jeugd. Lange tijd waren het vooral de vaste-stoffysici die gefascineerd waren door de soms bizarre eigenschappen van metalen bij extreem lage temperaturen. Nu lijkt echter ook de industrie in de ban van de supergeleidende ring. Op tal van gebieden wordt serieus gewerkt aan een commerciële toepassing: van kernfusieonderzoek tot elektriciteitscentrales en van ziekenhuizen tot computercentra. Een blik in verleden en toekomst.

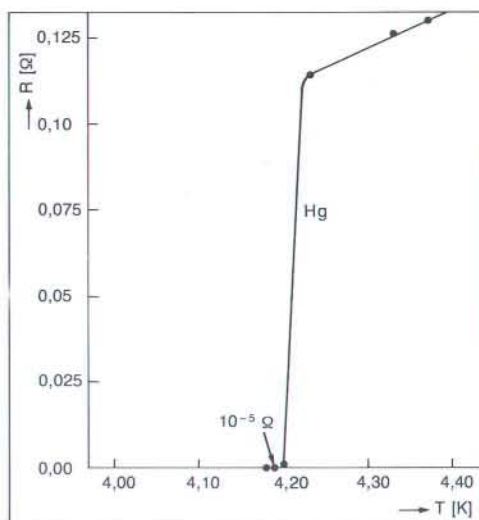
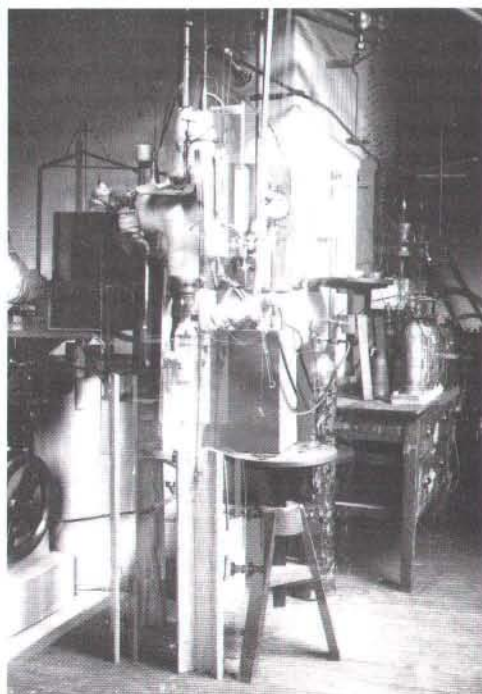
Een futuristische toepassing van supergeleiding vinden we in deze Japanse maglev (magnetic levitation) trein. In de U-vormige baan zijn magneetspoelen ingebouwd voor zweefvermogen en baangeleiding. De trein zelf is voorzien van supergeleidende magneten en heeft daarmee het snelheidsrecord voor dergelijke voertuigen op 517 km per uur gebracht.

# Naar het absolute nulpunt

“Es ist wirklich großartig, Herr Kollege, was Sie da geleistet haben.” Dit compliment van Albert Einstein aan zijn Leidse collega Heike Kamerlingh Onnes markeert een van de hoogtepunten van de Nederlandse fysica: het vloeibaar maken van helium in 1908. Met deze prestatie kwam een voorlopig einde aan de bijna mystieke speculaties over dit ‘permanente gas’. Het element helium was namelijk al in 1868 ontdekt als bestanddeel van de chromosfeer van de Zon (hieraan dankt het ook zijn naam: helios = zon). Het duurde echter tot 1895 voordat bleek dat het element ook op aarde voorkomt en dat de naarstig speurende onderzoekers het al die tijd als bestanddeel van de lucht hadden ingeademd.

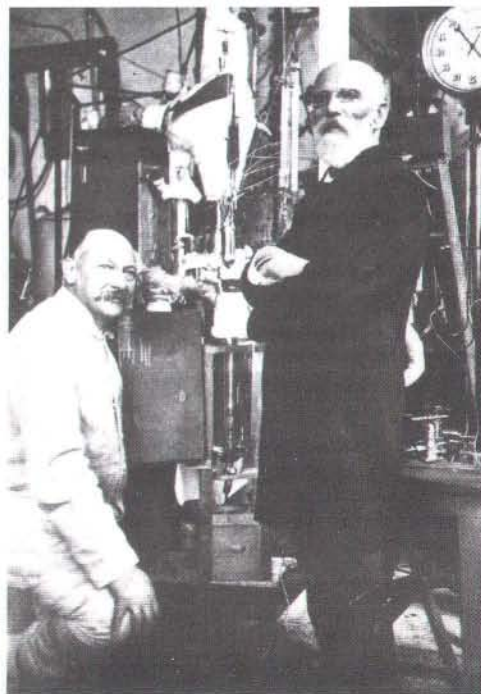
Onder: De heliumliquefactor met in het midden de glazen cryostaat waarin Kamerlingh Onnes zijn experimenten uitvoerde.

Rechtsbeneden: Kamerlingh Onnes (staand) met Van der Waals, wiens theorie hij trachtte te bewijzen waarbij hij ‘en passant’ de supergeleiding ontdekte. De hooggeleerde heren poseren bij de heliumliquefactor in het laboratorium van Kamerlingh Onnes.



Boven: Fig. 1. De grafiek toont de resultaten van de metingen waarmee Kamerlingh Onnes het optreden van supergeleiding van kwik bij 4,2 K aantoonde.

Rechtsboven: Fig. 2. Het periodiek systeem laat elementen zien die bij een bepaalde absolute temperatuur overgaan in de supergeleidende fase ( $T_c$ ). De overgangsmetalen zijn donker aangegeven. De hoogste  $T_c$  hebben verbindingen van overgangs- en niet-overgangsmetalen.





H																	He				
Li	Be 0.03															B 1.18	C 7.1	N 5.8	O 6.9	F	Ne
Na	Mg															Al 1.18	Si 7.1	P 5.8	S	Cl	Ar
K	Ca	Sc	Ti 0.39	V 5.31	Cr	Mn	Fe	Co	Ni	Cu	Zn 0.88	Ga 1.08	Ge 5.4	As 0.3	Se 6.9	Br	Kr				
Rb	Sr	Y 2.7	Zr 0.53	Nb 9.25	Mo 0.92	Tc 7.8	Ru 0.49	Rh	Pd	Ag	Cd 0.52	In 3.40	Sn 3.72	Sb 3.5	Te 4.3	J	Xe				
Cs	Ba 5.2	Lu 0.1	Hf 0.16?	Ta 4.47	W 0.02	Re 1.70	Os 0.66	Ir 0.12	Pt	Au	Hg 4.1	Tl 2.39	Pb 7.20	Bi 8.5	Po	At	Rn				
Fr	Ra	Ac	Th 1.37	Pa 1.4	U 2.3	Np	Pu	Am	Cm	Bk	Cf	E	Fm	Md	No	Lw					
Lanthaniden			La 6.0	Ce 1.7	Pr	Nd	Pm	Sm	Eu	Gd	Tb	Dy	Ho	Er	Tm	Yb					

De inspanningen van Kamerlingh Onnes waren er vooral op gericht te onderzoeken of de door Van der Waals geformuleerde wet van de overeenstemmende toestanden universeel geldig is. Deze wet voorspelde dat alle gasen zich fundamenteel hetzelfde gedragen, met andere woorden dat bij een voldoende lage temperatuur alle gasen zullen condenseren tot vloeistof. Nadat was aangetoond dat zuurstof en stikstof vloeibaar gemaakt konden worden, twijfelde niemand eraan dat uiteindelijk ook helium zou condenseren. De vraag was alleen bij welke temperatuur. Uit het experiment van Kamerlingh Onnes in 1908 bleek dat helium inderdaad vloeibaar gemaakt kon worden door het af te koelen tot de extreem lage temperatuur van 4,2 K (−268,9°C).

De grote verdienste van Kamerlingh Onnes was echter dat met zijn cryogene opstelling een geheel nieuw temperatuurgebied was ontsloten. Voor het eerst konden fundamentele fysische verschijnselen worden onderzocht bij een temperatuur tot zeer dicht bij het absolute nulpunt (−273,15°C).

### Weerstand nul

Een van de eerste fysische verschijnselen die Kamerlingh Onnes onderzocht bij deze extreem lage temperaturen was de elektrische geleiding. Deze wordt in een metaal veroorzaakt doordat de buitenste (valentie)-elektronen vrij

los gebonden zijn aan de atomen. Hierdoor kunnen ze min of meer vrij rondzwermen door het metaalkristal (en dus een elektrische stroom geleiden). De atomen die vast zitten in het kristalrooster missen hierdoor echter een of meer elektronen en zijn dus positief geladen.

In het begin van deze eeuw ontstond er echter een controverse over de vraag of bij lage temperaturen de weerstand al of niet oneindig hoog zou worden, doordat de geleidings-elektronen 'vastvriezen' aan de ionen in het rooster. Deze controverse was voor Kamerlingh Onnes de aanleiding om weerstandsmetingen te doen bij extreem lage temperaturen. Voor goud en platina vond Kamerlingh Onnes een constante weerstand bij lage temperatuur, die hij geheel correct toeschreef aan de aanwezigheid van verontreinigingen. Om de invloed van eventuele verontreiniging te vermijden, stapte hij over naar het metaal kwik (Hg), dat door destillatie in zeer zuivere vorm beschikbaar was. De elektrische metingen werden uitgevoerd door G. Holst, een assistent van Kamerlingh Onnes. In 1911 ontdekte hij, tot ieders grote verbazing, dat de weerstand van een staafje kwik beneden 4,2 K plotseling onmeetbaar klein werd: de ontdekking van het verschijnsel *supergeleiding* was een feit. (Dat de kritische temperatuur ( $T_c$ ) waarbij kwik supergeleidend wordt ongeveer samenvalt met het kookpunt van helium (4,2 K) is toeval.)

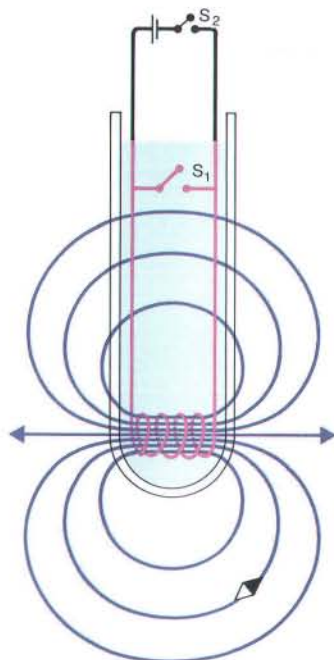
## Sleutel-experimenten uit de geschiedenis

### Persistente stromen

Het historische experiment waarmee Kamerlingh Onnes zichzelf en de wereld overtuigde van de volstrekt weerstandsloze toestand was het volgende. Met behulp van een batterij wordt een stroom door een supergeleidende spoel gestuurd (zie figuur I-1). Nadat deze spoel wordt kortgesloten door een schakelaar (eveneens supergeleidend) wordt de externe batterij verwijderd. De stroom in de supergeleidende spoel blijft echter verliesloos lopen, zoals kan worden gecontroleerd aan het magneetveld dat door de spoel wordt opgewekt. In feite is hier dus sprake van een perpetuum mobile: zolang er geen energie wordt onttrokken zal de elektrische stroom oneindig lang blijven rondcirkelen. De langst bekende duurproef duurde ruim twee jaar. Op het moment dat het experiment moest worden afgebroken doordat de toevoer van helium stagneerde tijdens een transportstaking, was nog geen meetbare verandering in de stroom opgetreden. Hieruit concludeert men dat de weerstand van een supergeleider in ieder geval kleiner is dan  $10^{-12}$  maal de normale weerstand. Op basis van theoretische argumenten schat men dat de stroom langer dan  $(10^{10})^{10}$  jaar blijft lopen, oneindig lang vergeleken met het bestaan van de mensheid.

### Het zwevende magneetje

Een spectaculair gevolg van supergeleiding werd in 1945 gedemonstreerd door de Russische natuurkundige Arkadiev. Stel voor dat men een staafmagneetje van enige hoogte op een loden plaat laat vallen. Bij het naderen van het magneetje worden door inductie in het lood kringstromen opgewekt, die de verandering van het magneetveld in het lood tegengaan (Wet van Lenz). Hierdoor wordt een tegengesteld magneetveld opgewekt en de beweging van het staafmagneetje wordt enigszins afgeremd. In een dynamo gebeurt ongeveer hetzelfde: een ronddraaiende magneet veroorzaakt een veranderend magneetveld in een spoel. Deze verandering induceert een elektrische stroom, zodanig dat de uiteindelijke oorzaak (het naderen of verwijderen van de magneet) wordt tegengegaan. De draaiing van de dynamo wordt dus afgeremd en de bewegings-energie wordt omgezet in elektrische energie.



Boven: Fig. I-1. In een supergekoelde spoel kan een persistente stroom lopen. Hiertoe wordt door de supergeleidende spoel een elektrische stroom gestuurd (schakelaar  $S_2$  dicht). Vervolgens wordt de supergeleidende schakelaar  $S_1$  gesloten. Als nu  $S_2$  weer wordt geopend, dan blijft de stroom gewoon doorlopen in de gesloten kring gevormd door  $S_1$  en de spoel. Dit is bijvoorbeeld meetbaar met een kompasnaaldje buiten de cryostaat ('thermosfles').

Rechts: Fig. I-2. Om het Meissner-effect waar te nemen laten we een metalen bol de cyclus ABCD doorlopen (extern magneetveld aanleggen, superkoelen, extern magneetveld uitschakelen). Veronderstellen we de bol een perfecte geleider, dan blijft het veld bij afkoeling beneden  $T_c$  (van B naar C in de bovenste cyclus) binnen de bol en vriest zelfs in als het externe veld wordt uitgeschakeld. Bij een echte supergeleider – perfecte geleider en perfecte diamagneet – in de supergeleidende fase is het interne veld altijd nul, omdat het bij de overgang van B naar C actief wordt uitgestoten.



Arkadiev voerde het hierboven geschetste experiment uit, echter niet bij kamertemperatuur, maar in vloeibare helium. Doordat bij deze lage temperatuur het lood supergeleidend is zullen de geïnduceerde kringstromen verliesloos blijven lopen. Deze kringstromen wekken weer, net als hierboven, een magneetveld op zodat de nadering van het magneetje wordt tegengegaan. Het verschil is echter dat de kringstromen nu oneindig lang blijven lopen. In feite gedraagt de supergeleidende loden plaat zich als een permanente magneet met een polariteit tegenovergesteld aan die van het magneetje. Bij de nadering van de magneet worden de kringstromen steeds groter, totdat het magneetje zo sterk wordt afgestoten dat het net boven de supergeleidende plaat blijft zweven.

### Meissner-effect

Bij de bovenstaande experimenten is het volgende om aan te nemen dat de weerstand van een supergeleider exact nul is. In werkelijkheid is er echter meer aan de hand. Dit blijkt onder andere uit het zogenaamde Meissner-effect. In 1933 toonden Meissner en Ochsenfeld aan dat een magneetveld actief wordt uitgestoten als een geleider wordt afgekoeld beneden de kritische temperatuur van het betreffende metaal (zie fig. 1-2). Met andere woorden: binnen een massieve supergeleider is het magneetveld altijd nul. Aan het oppervlak van de supergeleider gaan namelijk stromen lopen die een veld opwekken dat tegengesteld is aan het uitwendige veld. De essentie van het Meissner-effect is nu dat die oppervlaktestromen niet alleen kunnen ontstaan door in-

ductie onder invloed van een veranderend extern veld (zoals bij het bovenstaande voorbeeld van de zwevende magneet), maar ook door het metaal zelf wanneer dit overgaat in de supergeleidende toestand. Voor het opwekken van de (afschermings)kringstromen is uiteraard wel energie nodig. Deze kan het metaal echter zelf leveren omdat de supergeleidende toestand een lagere energie heeft dan de normale toestand. Zoals bij elke fase-overgang gaat ook hier het metaal over in een andere (thermodynamische) toestand wanneer dit energetisch voordelig is.

Een supergeleider gedraagt zich dus niet alleen als een perfecte geleider maar is bovendien een perfecte diamagneet. (Bij ferro- of paramagnetisme wordt het externe magneetveld intern versterkt; bij diamagnetisme gebeurt juist het omgekeerde en is het interne veld kleiner dan het externe veld.)

Een van de conclusies die uit het Meissner-effect volgt is dat supergeleiding niet zomaar een kwalitatieve verandering is van de elektrische eigenschappen, maar een fundamenteel andere toestand, te vergelijken met het verschil tussen de vloeistof- en gasfase van een stof.

Voor het begrip van het verschijnsel supergeleiding was de ontdekking van het Meissner-effect essentieel. Overigens werd het experiment van Meissner en Ochsenfeld al in 1924 door Kamerlingh Onnes uitgevoerd. Uit typisch Hollandse zuinigheid had hij de metalen bol echter hol uitgevoerd zodat minder helium nodig zou zijn voor de afkoeling naar 4,2 K. Helaas is voor een holle supergeleider het Meissner-effect minder goed zichtbaar, waardoor Kamerlingh Onnes tot een tegenovergestelde conclusie kwam.

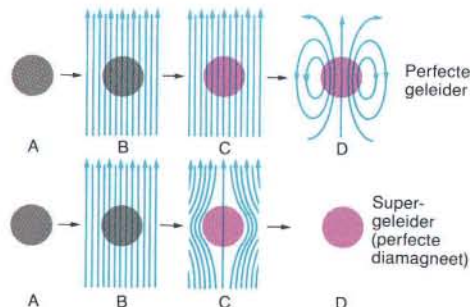
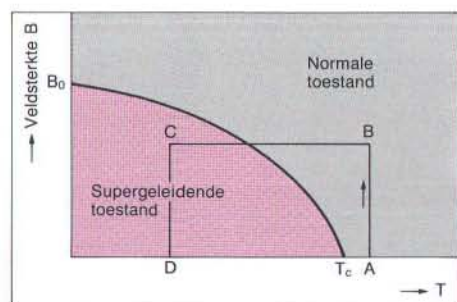
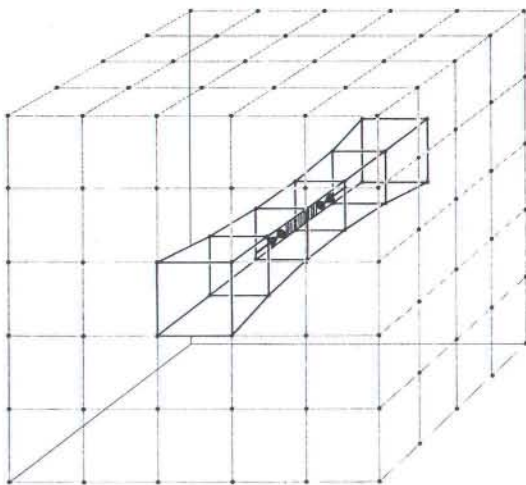


Fig. 3. Het ontstaan van Cooperparen in een kristalrooster kan schematisch worden weergegeven. Door een negatief geladen elektron worden de positieve ionen in de buurt daarvan naar elkaar toe getrokken. Omdat de ionen relatief traag bewegen blijven zij nog enige tijd nadat het elektron gepasseerd is dichter bij elkaar, waardoor plaatselijk een netto positieve lading ontstaat. Hierdoor kan een tweede elektron worden aangetrokken. Na verloop van tijd veren de ionen weer terug naar hun evenwichtspositie en schieten als het ware door in de tegenovergestelde richting. Hierdoor ontstaat lokaal een netto negatieve lading en de elektronen worden afgestoten en bewegen weer uit elkaar.



In de jaren tussen 1911 en 1913 werden in Leiden alle denkbare controles uitgevoerd om zeker te zijn van de juistheid van de wereldschokkende ontdekking. Doorslaggevend was het experiment waarbij in een supergeleidende spoel een stroom werd opgewekt (zie intermezzo I). Pas toen bleek dat deze stroom volledig verliesloos bleef lopen, was Kamerlingh Onnes er van overtuigd dat de weerstand inderdaad exact nul is en durfde hij het aan om de resultaten wereldkundig te maken. In 1913 kreeg Kamerlingh Onnes de Nobelprijs voor zijn verdiensten op het gebied van de lage-temperatuurfysica.

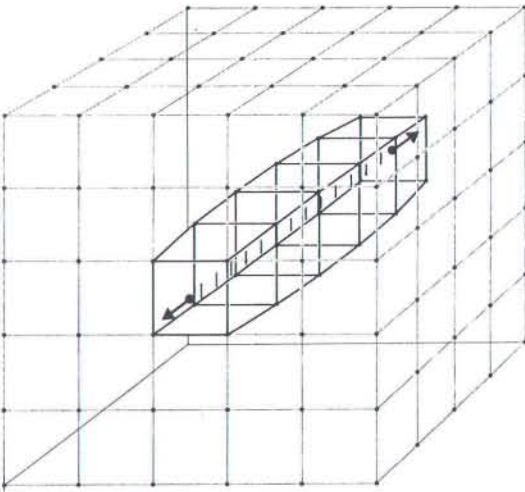
### Cooperparen

Er zijn waarschijnlijk maar weinig verschijnselen in de natuurkunde die zo veel 'verzet' hebben geboden tegen een theoretische verklaring als de supergeleiding. In de jaren tussen 1913 en 1957 werden er elk jaar wel 2 à 3 nieuwe theorieën gepubliceerd. Voor Felix Bloch was dat aanleiding om in een theorema vast te leggen dat 'elke theorie van de supergeleiding fout is'. Een macaber voorbeeld van zo'n 'foute' theorie werd geformuleerd aan het eind van de jaren '30 in Nazi-Duitsland door de president van de Natuurkundig-Technische Rijksinstelling, Johannes Stark. Volgens zijn theorie zou de supergeleiding worden veroorzaakt door 'ringvormige niet-Joodse elektronen'.

Een succesvolle verklaring voor supergeleiding werd in 1957 geformuleerd door de Amerikanen Bardeen, Cooper en Schrieffer. Essentieel in deze BCS-theorie is de aanname dat tussen elektronen met dezelfde snelheid, maar tegengestelde richting en met een tegengestelde rotatie om hun as (spin) een zwakke aantrekkende wisselwerking bestaat.

In een vacuüm stoten twee elektronen elkaar altijd af door de elektrostatische Coulombafstoting. In de vaste stof kunnen echter diverse processen optreden waardoor deze afstoting wordt gecompenseerd. Zo schermen de positief geladen ionen in het kristalrooster de afstotende Coulomb-kracht bijna volledig af. Voor het ontstaan van een netto aantrekkende kracht is echter een ander proces noodzakelijk. Men vermoedt dat in het geval van supergeleiding de netto aantrekkende wordt overgebracht door een roostertrilling (fonon). Als een elektron zich door het kristal beweegt, dan vervormt dit enigszins het rooster van positieve ionen. In de buurt van het elektron bewegen de ionen zich enigszins naar elkaar toe en veroorzaken in feite een netto positieve lading. Het tweede elektron wordt hierdoor aangetrokken en beweegt zich in de richting van het eerste elektron. (Een simpele parallel is die van een knikker op een trommelvel. De knikker vervormt het oppervlak zodat er een kuiltje ontstaat. Een tweede knikker heeft daardoor de neiging in de richting van de eerste knikker te rollen.) In het kristalrooster lijkt het alsof





de ionen met behulp van veertjes aan een vaste plaats zitten gebonden. Na verloop van tijd zullen de uit evenwicht geraakte ionen dus weer terug getrokken worden en doorschieten naar de andere kant. Er ontstaat dan een plaats met een netto negatieve lading en de twee elektronen stoten elkaar weer af. Door dit proces van aantrekken en afstoten lijkt het alsof de twee elektronen zijn verbonden met een elastiekje. In de BCS-theorie worden deze gebonden elektronen *Cooperparen* genoemd.

Een tweede stap in de BCS-theorie is de conclusie dat de formatie van Cooperparen leidt tot een fundamenteel andere toestand van de materie. Van buiten lijkt het alsof in een supergeleider geen afzonderlijke elektronen meer bestaan. Cooperparen hebben geheel andere eigenschappen dan de elektronen in een normaal metaal. Het grootste verschil is wel dat de Cooperparen niet als individuele, onafhankelijke deeltjes reageren, maar onderling samenwerken. Het blijkt namelijk dat de toestand met de laagste energie wordt bereikt als alle Cooperparen dezelfde impuls hebben. Als er geen stroom loopt is de impuls nul.

Als we de elektronen in een normaal metaal voorstellen als een wilde verzameling stuitende pingpong-balletjes in een doos, dan is supergeleiding, om het eerdere beeld weer te gebruiken, vergelijkbaar met de toestand die ontstaat als paren van balletjes met hun elastiekjes in elkaar haken en er alleen nog sprake is van één kluwen. De elastiekjes zijn echter

uiterst zwak, zodat het kluwen weer kapot gaat als de temperatuur te hoog wordt. Supergeleiding komt daardoor alleen voor bij extreem lage temperaturen, waarbij alles vrijwel volledig tot rust komt.

De vraag die overblijft is waarom een dergelijk 'kluwen' van Cooperparen weerstandsloos door het kristal kan lopen. In een gewoon kristal ontstaat weerstand (met andere woorden verlies van energie) doordat elektronen impuls overdragen (botsen) aan onzuiverheden of aan de trillende ionen in het kristal. Theoretisch zou men verwachten dat een perfect kristal bij exact het absolute nulpunt dus geen weerstand heeft, maar dit is in de praktijk nooit haalbaar. In een supergeleider hebben alle Cooperparen exact dezelfde impuls. Om door botsingen de impuls van Cooperparen te veranderen vergt dus veel meer energie, doordat de impuls van *alle Cooperparen tegelijk* moet veranderen. Een trillend ion in het kristal heeft wel genoeg energie om één elektron van richting en snelheid te doen veranderen, maar niet om  $10^{23}$  elektronen per  $\text{cm}^3$  af te remmen. Als door een elektrisch veld de verzameling Cooperparen eenmaal in beweging is gebracht, dan loopt de stroom onstuitbaar door.

De BCS-theorie is buitengewoon succesvol gebleken; vrijwel alle bekende eigenschappen van supergeleiders kunnen hiermee worden verklaard. Ook globale verstoringen van de supergeleiding door een magneetveld en door een grote elektrische stroom zijn op dit moment volledig begrepen. Ondanks dat is de supergeleiding nog steeds een levendig onderzoeksgebied binnen de vaste-stoffysica; nog steeds worden nieuwe eigenschappen ontdekt, die met de bestaande theorie niet te verklaren zijn.

## Toepassingen

De belangstelling voor supergeleiding heeft vooral te maken met de reële perspectieven voor commerciële toepassingen op korte termijn. De belangrijkste hindernis hiervoor was en is het feit dat supergeleiding alleen voorkomt bij extreem lage temperatuur. Voor elke toepassing zal het supergeleidende deel dus ingebouwd moeten worden in een cryostaat, een super-diepvries. Dank zij doorbraken in de koeltechniek is het nu mogelijk om goedkope, compacte en relatief onderhoudsvrije koelmachines te maken die in continu bedrijf een

## Nieuwe ontwikkelingen

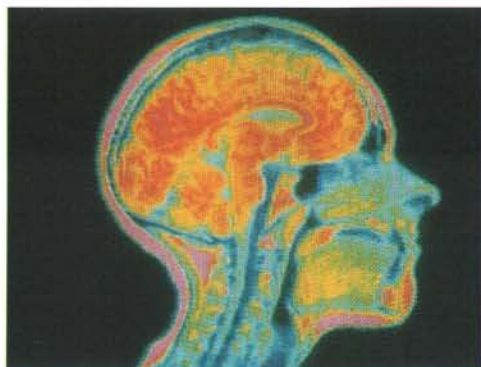
Nieuwe effecten kunnen ondermeer ontstaan door elektronen of fononen 'uit evenwicht' te brengen met externe verstoringen. Zo ontdekten Klapwijk en Mooij in Delft dat de supergeleidende overgangstemperatuur  $T_c$  kan worden verhoogd door het instralen van microgolfstraling. Bij nog hogere microgolf- of laservermogens kan de supergeleider bovendien overgaan in een inhomogene toestand met afwisselende normale en supergeleidende gebieden. Hoewel voor sommige supergeleiders (de zogenaamde type II-materialen) een vergelijkbare situatie kan worden ver-

oorzaakt door een statisch magneetveld, is de inwerking van een elektromagnetisch veld volledig verschillend en is een microscopische verklaring nog niet goed mogelijk.

Een ander deel van het recente supergeleidings-onderzoek is gericht op het maken van nieuwe materialen, met een zo hoog mogelijke kritische temperatuur. De droom is nog altijd om een materiaal te vinden dat bij kamertemperatuur nog supergeleidend is, al zou een kritische temperatuur van 77 K (kookpunt van stikstof) ook al een enorme revolutie betekenen. Al met al heeft men zich er bij neergelegd dat supergeleiding alleen voorkomt bij temperaturen tot 25 K. De materialen die hier het dichtst bij komen zijn

temperatuur van ongeveer 10 K kunnen halen. De meeste toepassingen eisen een temperatuur van beneden de 4 K. Hoewel de hedendaagse machines voor het produceren van vloeibaar helium aanzienlijk robuuster zijn dan ten tijde van het pionierswerk van Kamerlingh Onnes, zijn ze niet geschikt voor zeer kleinschalige toepassingen.

De meest voor de hand liggende toepassing van supergeleiding ligt op het gebied van de elektrotechniek. Door supergeleidende draden te gebruiken kan elektrische energie zonder verlies worden getransporteerd. Ook bij elektromagneten is een veel hoger energetisch rendement mogelijk: door het ontbreken van warmteverlies kunnen de draden veel dunner



Magnetic Resonance Imaging (MRI) is een techniek waarmee op verschillende plaatsen van het lichaam dwarsdoorsneden gemaakt kunnen worden. Hierdoor kan bijvoorbeeld zeer precies de lokatie van een kankergezwel worden bepaald. Het benodigde magneetveld wordt opgewekt met een supergeleidende spoel, waarvan links een schaalmodel te zien is. Een belangrijk voordeel van de methode ten opzichte van röntgenopnames is dat magneetvelden geen schadelijke invloed hebben op het lichaam.



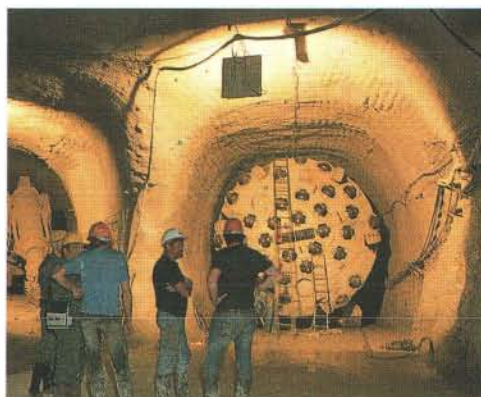
de intermetallische verbindingen met een zogenaamde A-15 structuur. De hoogst gemeten  $T_c$  komt voor bij verbindingen van het type  $Nb_3X$  of  $V_3X$  ( $V$  = vanadium), waarbij  $X$  een niet-overgangsmetaal voorstelt. Recordhouder met een  $T_c$  van 23,3 K is voorlopig  $Nb_3Ge$  ( $Ge$  = germanium). Na de ontdekking van deze supergeleider in 1973 is de ontwikkeling enigszins tot stilstand gekomen. Wel zijn er theoretische voorspellingen dat in zeer speciale organische verbindingen supergeleiding kan voorkomen tot ver boven kamertemperatuur. Hoewel er diverse organische supergeleiders zijn ontdekt, blijven deze voorspellingen vooralsnog hypothetisch.

zijn, waardoor een compactere en dus efficiëntere en goedkopere bouw mogelijk is. Bij deze sterkstroom-toepassingen schuilt er echter één adder onder het gras: de supergeleidende toestand gaat kapot (met andere woorden: de Cooperparen breken) bij een te grote stroomdichtheid of bij een te groot magneetveld. Vooral de klassieke materialen als kwik, tin en lood (zogenaamde type I-supergeleiders) kunnen erg slecht tegen grote stromen of grote velden. Bovendien hebben ze de onprettige eigenschap dat de supergeleiding dan in één klap verdwijnt.

Gelukkig zijn er ook ander supergeleiders, zoals vanadium, niobium en de meeste legeringen (type II-supergeleiders), die heel geleidelijk overgaan van volledig supergeleidend, via een toestand met afwisselende normaal geleidende en supergeleidende gebieden, naar de normale toestand. In de tussentoestand kan er nog steeds een verliesloze stroom lopen, zolang de supergeleidende gebieden onderling aan elkaar raken. Door deze geleidelijke overgang zijn type II-supergeleiders bij uitstek geschikt voor toepassing bij hoge magneetvelden of voor grote stroomdichtheden.

### Supergeleiding in het ziekenhuis

Een voorbeeld van een toepassing van supergeleidende magneetspoelen is te vinden in de medische sector. Voor de moderne 'whole body scan'-apparatuur maakt men gebruik van de magnetische resonantie van de kern-



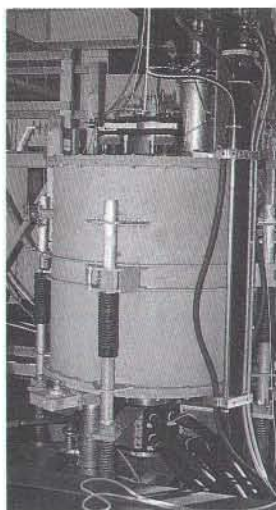
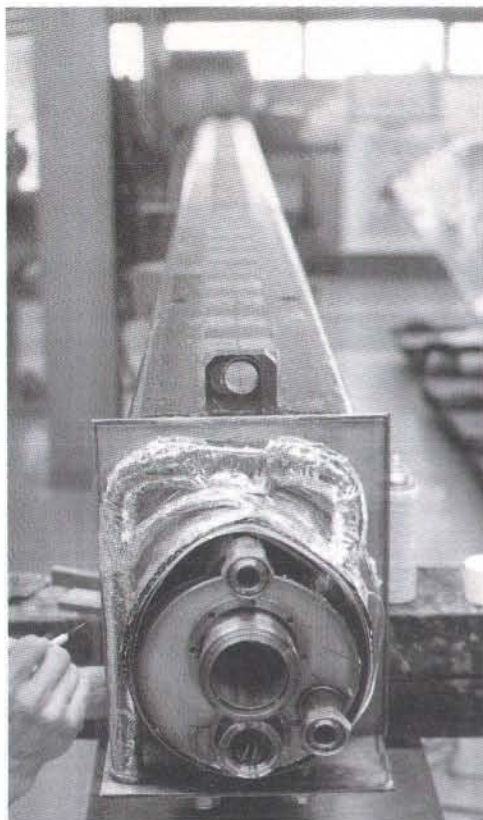
Aan de toekomst wordt gewerkt: de eerste kilometers tunnel voor de 27 km lange 'Large Hadron Collider' van CERN in Genève, zijn geboord.

spins (Magnetic Resonance Imaging - MRI). Met deze techniek kunnen foto's worden gemaakt van de inwendige organen, zonder de schadelijke bijverschijnselen van röntgenstraling. Voor zover bekend zijn hoge magneetvelden niet schadelijk voor de mens. Het magneetveld voor de MRI-techniek is typisch van de orde van 3 tot 4 tesla. Ter vergelijking, het aardmagneetveld is ongeveer  $0,5 \cdot 10^{-4}$  T, dus bijna 100.000 maal zwakker. Klassieke elektromagneten met een weekijzerkern hebben voor een dergelijk veld een gigantisch vermogen nodig van de orde van enkele honderden kilowatts. Bovendien is het weekijzeren juk al gauw enkele honderden tonnen zwaar. Een supergeleidende spoel voor een dergelijk veld verbruikt een minimale hoeveelheid energie, namelijk alleen voor de afkoeling tot 4 K.

### Supermagneten bij onderzoek en techniek

Bij het onderzoek in de hoge-energiefysica denkt men eveneens aan supergeleidende magneten om relativistische deeltjesbundels een cirkelvormige baan te laten doorlopen. In de VS zijn de plannen voor een gigantische 2.20 TeV 'Superconducting Super Collider' (SSC) al in een vergevorderd stadium ( $1 \text{ TeV} = 10^{12} \text{ eV} = 1,6 \cdot 10^{-7} \text{ J}$ ). CERN werkt in Genève aan het ontwerp van een 27 km lange 'Large Hadron Collider' van 2.10 TeV, gebruikmakend van 10 tesla supergeleidende magneetspoelen.

Ook op andere onderzoeksterreinen zijn su-



Stroomaansluiting voor  
supergeleidende spoel

Toevoer vloeibaar  
helium

Stikstofgekoeld (80 K)  
stralingsschild

Heliumgekoeld (20 K)  
stralingsschild

Bittermagneet (8,1 T)

Bittermagneet (8,9 T)

Supergeleidende  
spoel (8,4 T)

Links: Een supergeleidende dipoolmagneet voor gebruik in een deeltjesversneller bij Fermi National Accelerator Laboratory (VS).

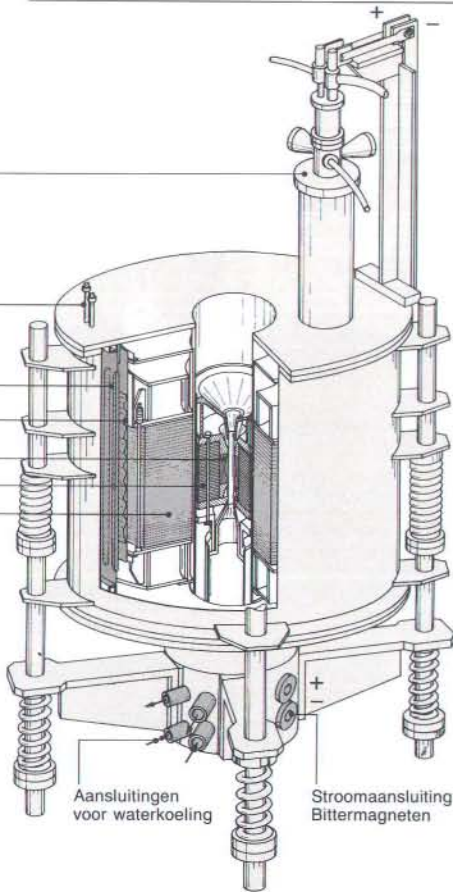
Boven en rechts: Fig. 4. De Nijmeegse hybride magneet was tot voor kort wereldrecordhouder voor statische magneetvelden (29 T). De installatie verbruikt bij die veldsterkte zo'n 3 MW elektrisch vermogen. In de figuur is te zien dat zich binnen de heliumgekoelde magneet nog twee normale magneten bevinden. Voor experimenten resteert nog een ruimte met een doorsnede van 3 cm.

pergeleidende magneten niet meer weg te denken. In de vaste-stoffysica, en met name het materiaalonderzoek en het halfgeleideronderzoek, is het meten bij hoge magneetvelden een essentiële ondersteuning. In Nijmegen bevindt zich een zeer goed uitgerust magnetenlaboratorium, waar onderzoekers uit heel Nederland terecht kunnen voor specifieke hoog-veld metingen. Om de allerhoogste magneetvelden op te wekken maakt men gebruik van zogenaamde hybride systemen. Binnen de supergeleidende spoel bevindt zich een meer conventionele spoel van koper. In deze binnenspoel wordt zoveel warmte geproduceerd dat er grote stromen ijs-gekoeld water doorheen moeten worden geperst. De in figuur 4 afgebeelde magneet was tot voor kort de wereldrecordhouder voor statische magneetvelden met een veld van 29 tesla (zie Guinness Book of Records). In Japan is onlangs een systeem in gebruik genomen dat 30,2 T kan opwekken.

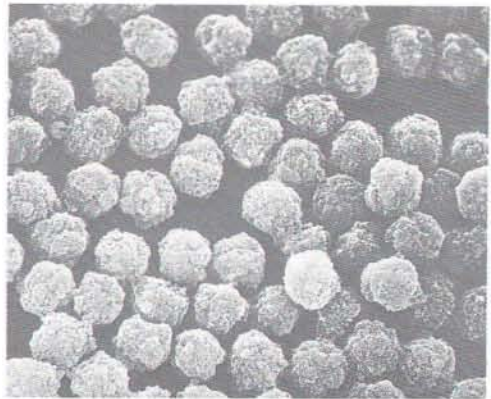
### Magnetische scheiding

Ook in de afvalzuivering denkt men aan toepassingen van supergeleidende spoelen voor het uitfiltreren van vrijwel alle stoffen met ferromagnetische of paramagnetische eigenschappen. Aan de KU in Nijmegen is de afgelopen jaren ruime ervaring opgedaan met deze High Gradient Magnetic Separation (HGMS), onder andere voor het opvangen van vliegias van kolencentrales en het zuiveren van ijzerhoudend grondwater. Dezelfde techniek is ook bruikbaar voor ontzwaveling van gemalen poederkool omdat een deel van de zwavel, in de vorm van pyriet, is gebonden aan ijzeratomen. In combinatie met chemische methoden zou daarmee een zuivering van erts en steenkool plaats kunnen vinden dicht bij de winningsgebieden. De relatief milieuvriendelijke verbranding die hierdoor mogelijk wordt maakt kleinschaliger gebruik in industriële installaties opnieuw interessant.





Onder en geheel onder: High Gradient Magnetic Separation (HGMS) is een scheidingsmethode met supergeleidende magneten, met onder andere medische toepassingen. Kanker van beenmergcellen kan worden behandeld door deze cellen (bovenste foto) met chemo- of radiotherapie te doden. Gewoonlijk worden daarna gezonde cellen van een donor (meestal een familielid) in het bot geplaatst. Om afstotingsverschijnselen te voorkomen zou het wenselijk zijn om de eigen (gezonde) cellen van de patiënt terug te plaatsen, maar dan moeten wel alle kwaadaardige cellen zijn verwijderd. Bij een recent ontwikkelde techniek worden de tumorcellen selectief bekleed met monoklonale antilichamen. Het beenmerg wordt vermengd met minuscule magnetische kunststofbolletjes (ongeveer  $3 \cdot 10^{-6}$  m groot; onderste foto), waarop een laagje antilichamen is aangebracht die sterk aan de monoklonale antilichamen hechten. Het resultaat is dat de tumorcellen een jasje van magnetische bolletjes krijgen en zo door middel van magnetische scheiding vrijwel volledig kunnen worden verwijderd.



### Energie-onderzoek

De grootste markt voor supergeleidende magneten ligt echter in de energiesector. De toepassingen variëren van transformatoren tot magnetohydrodynamische (MHD)generatoren. Voor de vervolprojecten op het Joint European Torus (JET) kernfusieproject gaat men uit van de installatie van 12 tesla supergeleidende magneten. In de speciale testinstallatie voor supergeleiders SULTAN in het Zwitserse Villingen zijn bemoedigende resultaten behaald met een prototype van 8 tesla, ontworpen door ECN en gemaakt bij Smit-Nijmegen.

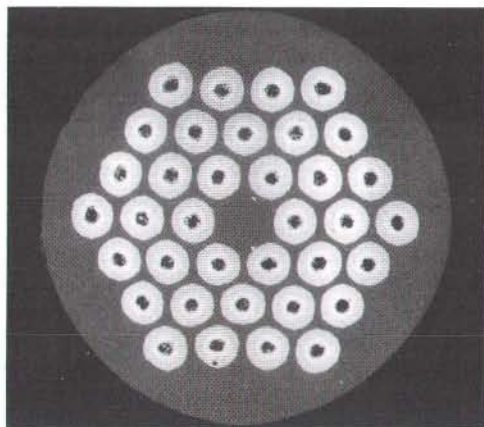
Tot nu toe zijn voor deze supergeleidende spoelen vrijwel uitsluitend Nb/Ti-legeringen gebruikt. Met een kritische temperatuur van 18 K en een kritisch veld van 23 tesla biedt  $Nb_3Sn$  goede perspectieven voor nog sterkere magneten. De problemen zijn hierbij voornamelijk van materiaalkundige aard.  $Nb_3Sn$  is zeer bros en laat zich niet op de gebruikelijke



wijze tot draden trekken. Bij ECN heeft men een nieuw procédé ontwikkeld, waarbij Nb-buizen worden gevuld met NbSn<sub>2</sub>-poeder. Nadat de buizen zijn ingebed in een kopermatrix kan het geheel tot draden worden getrokken en gewikkeld tot de gewenste spoelen. Pas daarna wordt in een oven de spoel verhit en vormt zich het Nb<sub>3</sub>Sn uit het NbSn<sub>2</sub>-poeder en het Nb uit de buiswand.

### Een supergeleidende computer

Van alle toepassingen is misschien wel het meest spectaculair het perspectief van een supergeleidende zogenaamde Josephson-computer. De rekencapaciteit van een computer wordt voor een groot deel bepaald door het tempo waarin de afzonderlijke handelingen kunnen worden uitgevoerd. De rekensnelheid wordt echter niet alleen beperkt door de schakeltijd van de logische elementen, maar ook door de loopsnelheid van de elektrische signalen. In één nanoseconde ( $10^{-9}$  s) legt een elektrisch signaal een afstand af van ongeveer 15 cm. In de krachtigste supercomputers, zoals bijvoorbeeld de Cray X-MP probeert men zoveel mogelijk de berekeningen op te splitsen in delen die parallel, dus gelijktijdig kunnen worden uitgevoerd. Daarnaast zijn de verbin-



Een doorsnede van een multifilament Nb<sub>3</sub>Sn draad bestemd voor een 12 T spoel. De 36 filamenten zijn ingebed in een matrix van koper (het donkergrijze deel). Het Nb<sub>3</sub>Sn wordt pas gevormd door een warmte-behandeling nadat de spoel is gewikkeld. Hierdoor worden breuken en zwakke plekken voorkomen.

dingen tussen verschillende componenten gereduceerd tot minder dan een meter. Hierdoor kan men een cyclustijd van 12 nanoseconde bereiken.

Een verdere verhoging van de rekensnelheid is dan ook alleen mogelijk als de onderdelen dichter bij elkaar worden geplaatst. Voor een cyclustijd van 1 nanoseconde moeten echter de miljoenen onderdelen worden samengebracht in een doosje van maximaal 10 cm doorsnede. In principe is dit met fotolitografische technieken al wel haalbaar. Met klassieke halfgeleider-elementen zal echter in dat doosje een vermogen worden ontwikkeld van tientallen kilowatts. Met de gangbare koelingsmethoden is deze warmte niet meer af te voeren met als gevolg dat de computer roodgloeiend zal lopen en zal doorsmelten.

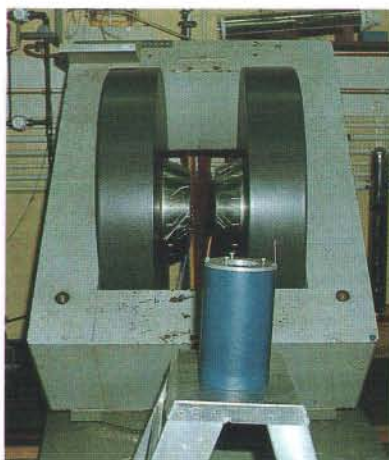
Met supergeleidende Josephson-schakelaars (zie intermezzo III) is het echter mogelijk schakeltijden te bereiken van 6 picoseconden





Links: Het wikkelen van een 8 T supergeleidende spoel die gebruikt wordt in een gyrotron op het Instituut voor Plasmaonderzoek in Lausanne.

Onder: Een klassieke elektromagneet met een weekijzerkern (maximaal 1,3 T) vergeleken met een moderne supergeleidende magneet (maximaal 7,5 T; de blauwe cilinder die voor de weekijzerkernmagneet staat). Door verzadiging van de magnetisatie van ijzer is het niet mogelijk om met een weekijzerkernmagneet meer dan 3 tesla op te wekken (de installatie is dan al meer dan kamervullend). Een elektromagneet zonder weekijzerkern kan wel een groter veld leveren. Om hetzelfde veld te genereren als de getoonde supergeleidende spoel is dan echter een elektrisch vermogen nodig van ongeveer 3 MW. De supergeleidende spoel verbruikt geen elektrische energie.



( $6 \cdot 10^{-12}$  s), met een minimale warmteontwikkeling. De verbindingen zijn verliesloos en de Josephson-junctions die fungeren als schakelaars en geheugenelementen, werken bij een spanning van ongeveer 1 mV in plaats van de normale 5 V. Een grote computer, met enkele miljoenen schakelementen verbruikt daardoor niet meer dan een paar watt vermogen.

In de jaren '70 zijn alle basisschakelingen voor een complete Josephson-computer ontworpen en getest. Ook de fotolithografische technieken zijn zover gevorderd dat de benodigde miniaturisering geen probleem meer oplevert. De adder onder het gras is echter het probleem om mechanisch stabiele metaalstripjes en oxydelaagjes te maken die zelfs bij herhaald opwarmen en afkoelen intact blijven. Een dergelijk oxydelaagje is niet dikker dan enkele nanometers ( $10^{-9}$  m) en er hoeft maar één kortsluiting te zijn of de hele schakeling is waardeloos. Deze problemen werden zelfs

computergigant IBM te machtig en het zeer grootschalige Josephson-project verdween in het begin van de jaren '80 in de ijskast. De afgelopen jaren is echter, met name in Japan, weer nieuwe vooruitgang geboekt. Ook in de VS wordt hard doorgewerkt. Een door Sperry Corp. ontwikkelde methode om via anodisering selectief oxydelaagjes te 'groeien' op niobium is mogelijk de sleutel tot de commerciële realisatie. Desondanks blijft het twijfelachtig of de supergeleidende computer ooit het stadium van curiositeit te boven zal komen.

In de afgelopen jaren is namelijk een zeer serieuze concurrent voor de supergeleidende computer aan het firmament verschenen. Halfgeleider elementen gemaakt van galliumarsenide (GaAs) bieden nieuwe onverwachte mogelijkheden. De elektronen die zich bevinden op het grensvlak tussen een GaAs- en een AlGaAs-kristal (een GaAs-kristal waarin een deel van de galliumatomen is vervangen door

## Het Josephson-effect

Een Josephson-junction bestaat in principe uit twee supergeleidende lagen, gescheiden door een uiterst dun (ongeveer 1 nm dik) oxydel laagje. Normaal gesproken is een oxyde elektrisch isolerend en kan er geen stroom oversteken van de ene naar de andere laag. Doordat elektronen kwantummechanisch als een golfverschijnsel moeten worden opgevat, is er echter wel een kleine kans dat een elektron oversteeft als het oxydel laagje qua dikte vergelijkbaar is met de uitbreidheid van de golf functie van het elektron. Het elektron boort als het ware een tunneltje door het oxyde; deze stroom wordt dan ook tunnelstroom genoemd.

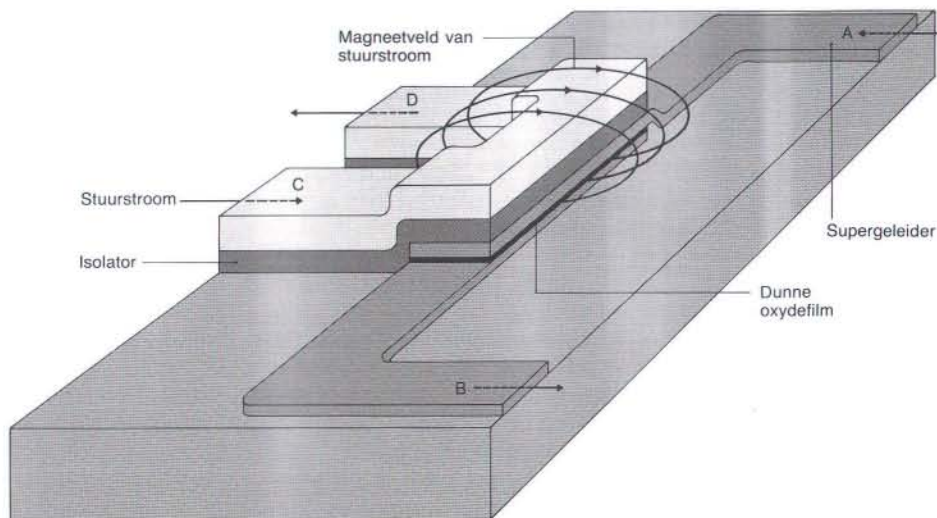
Het zgn. DC-Josephson-effect (gelijkstroom-Josephson-effect) houdt in dat tussen de twee supergeleidende een verliesloze tunnelstroom kan lopen doordat Cooperparen zonder energieverlies over kunnen steken (tunnelen). In figuur III-1 kan dus een supergeleidende stroom lopen van A naar B, ondanks het feit dat er een nietgeleidende barrière in de kring is opgenomen.

Voor praktische toepassingen maakt men gebruik van het feit dat de supergeleidende tunnelstroom al door een zeer klein magneetveld kan worden onderbroken. In figuur III-1 wordt een dergelijk magneetveld opgewekt door een stroomstroompje te sturen van C naar D. Er kan dan nog wel een tunnelstroom lopen, maar deze

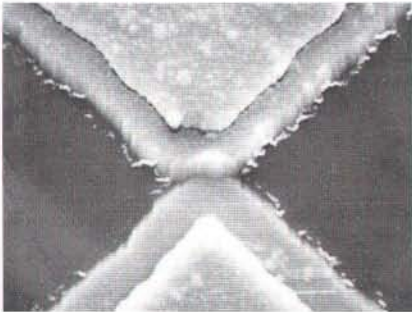
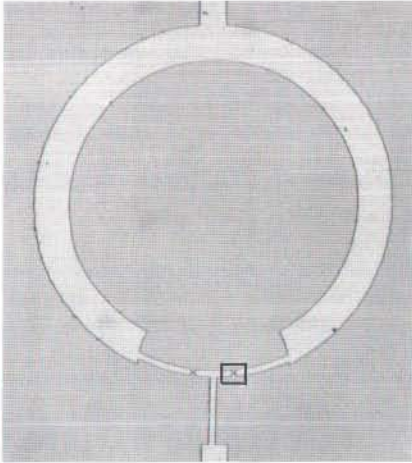
wordt niet meer supergeleid en er ontstaat een spanning over het oxyde. Hiermee zijn dus alle ingrediënten aanwezig om een logische schakelaar te maken: zonder magneetveld loopt er stroom tussen A en B terwijl er geen spanning is; met magneetveld ontstaat er wel een spanning. Met dergelijke supergeleidende schakelaars kan men elektronische circuits maken die volledig vergelijkbaar zijn met die uit de halfgeleider-elektronica.

De enorme gevoeligheid voor magneetvelden kan men gebruiken om met behulp van Josephson-elementen zeer gevoelige meetapparatuur te bouwen. Op meerdere plaatsen wordt bijvoorbeeld gewerkt aan de bouw van Josephson-elementen voor radio-astronomie en onderzoek van het aardmagneetveld; er wordt zelfs al aan gedacht om de magneetvelden die in het menselijk lichaam worden opgewekt te gebruiken als basis voor medisch onderzoek: magneto-cardiografie bijvoorbeeld kan in de toekomst een minstens zo belangrijke plaats in gaan nemen als de huidige elektro-cardiografie.

De keerzijde van de medaille is wel dat de Josephson-elementen ook een bijzondere militaire relevantie hebben. Als detector in de ruimte (denk aan de Star Wars-plannen), maar ook voor het opsporen van onderzeeboten zijn ze bij uitstek geschikt.







Links: Fig. III-1. Principe schets van een Josephson-junctie. De supergeleidende metaalfilms A en B zijn gescheiden door een isolerend oxyde. Dit is echter zo dun dat een supergeleidende stroom er door heen 'tunnelt'. A en B zijn dus elektrisch kortgesloten en hebben geen spanningsverschil. Wanneer nu een stroomstroompje van C naar D wordt gestuurd dan ontstaat een magneetveld dat de supergeleidende tunnelstroom onmogelijk maakt. Tussen A en B ontstaat nu dus wel een spanningsverschil.

Boven: Opname van een gelijkstroom-SQUID (Superconducting Quantum Interference Device). De ring bestaat uit een dun supergeleidend metaallaagje en heeft een diameter van 0,3 mm. De eigenlijke Josephson contacten (zie uitvergroting) zijn slechts enkele micron ( $10^{-6}$  m) breed. Met een dergelijke SQUID is het mogelijk om met een nauwkeurigheid, 1000 maal groter dan bij andere methoden, veranderingen in een magneetveld van de orde van  $10^{-13}$  tesla te meten.

aluminiumatomen) blijken namelijk een extreem hoge beweeglijkheid te hebben. In feite lijkt het alsof de elektronen zich in de gas-fase bevinden en vrijwel weerstandsloos in een tweedimensionaal vlak kunnen bewegen. In Japan is men er al in geslaagd om met een dergelijke technologie een transistor te maken die een schakeltijd heeft van 12 picoseconden ( $12 \cdot 10^{-12}$  s). Het grote voordeel van eventuele GaAs-elektronica is natuurlijk dat computers gewoon bij kamertemperatuur kunnen werken. Dit is met name belangrijk op die plaatsen waar onderhoud moeilijk realiseerbaar is, bijvoorbeeld in satellieten in de ruimte.

De Amerikaanse schattingen zijn dat in de jaren negentig het satelliet-communicatieverkeer met een factor 12000 tot 15000 zal toenemen. Naast de toepassingen bij de grote onderzoekscentra zullen de supercomputers dan ook met name worden ingezet in de ruimte. Zeker als Reagans Star Wars plannen werkelijkheid worden, zijn snelle zelfdenkende supercomputers essentieel. Het is echter onzeker of supergeleidende rekenwonders hiervoor in aanmerking komen. Voorlopig komen alleen GaAs-transistoren tegemoet aan de eisen die door de militairen gesteld worden.

"Door meten tot weten" schreef Kamerlingh Onnes al boven de deur van zijn laboratorium. Voor civiele toepassingen blijft dit motto van de stug volhoudende pionier een lichtend voorbeeld. Voor het militaire slagveld zijn echter betere motto's denkbaar.

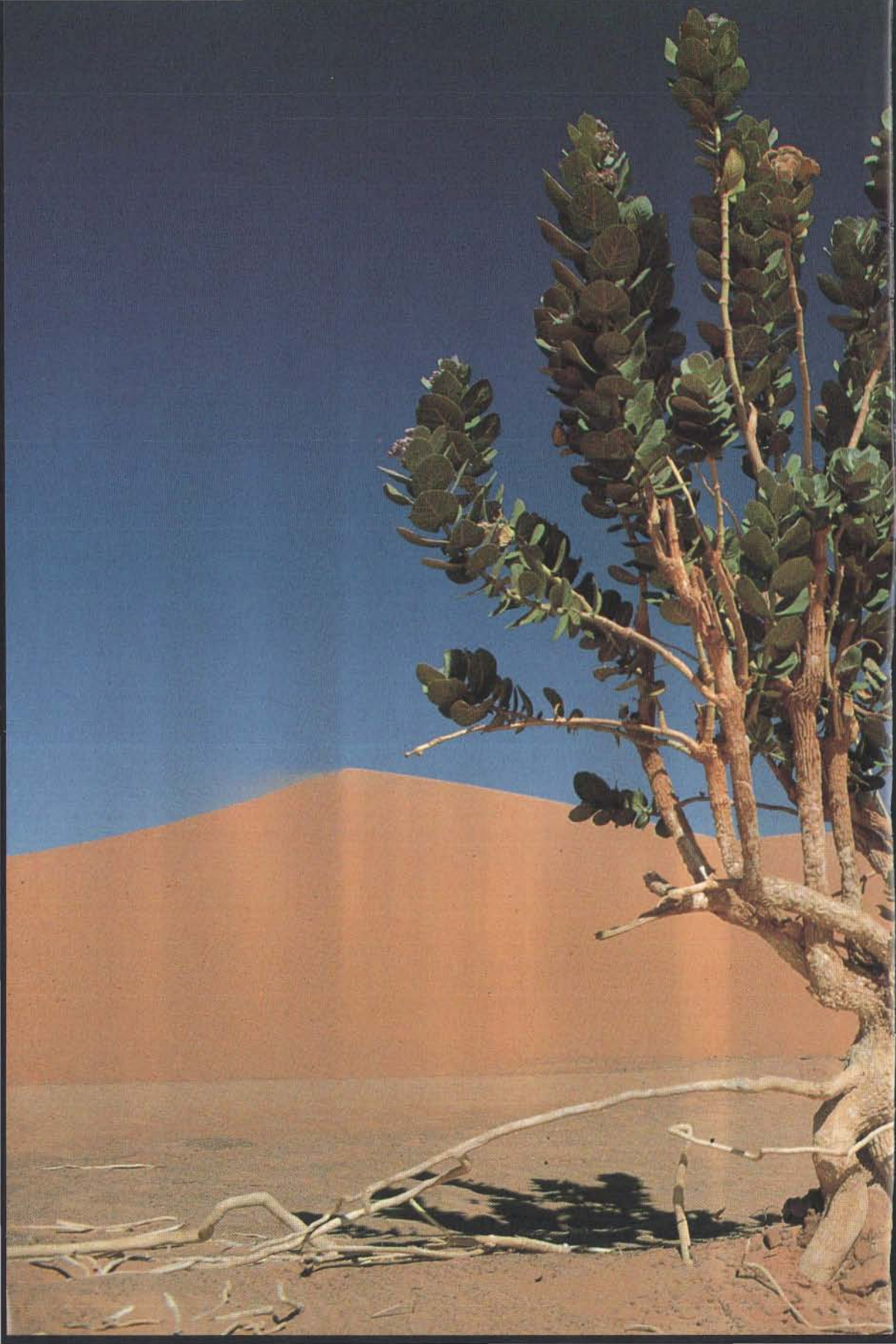
Met dank aan ir. J. de Bruijn, vakdidacticus Natuurkunde aan de Technische Hogeschool Twente, voor zijn kritische opmerkingen en didactische suggesties.

#### Literatuur

- Coops, G.M., (1980). *Op weg naar het absolute nulpunt*. Natuur en Techniek 48, 3, pag. 220-237.  
Hollenberg, Jaap, (1985). *Supercomputers*. Natuur en Techniek 53, 5, pag. 346-361. Cat. nr. 85052  
Masschelein, J.C.J., (1985). *Vaste stof in de natuurkunde*. Natuur en Techniek 53, 9, 656-671. Cat. nr. 85091.

#### Bronvermelding illustraties

- New Scientist, London: pag. 856-857.  
Kamerlingh Onnes Lab., Leiden: pag. 858.  
Smit-Nijmegen BV: pag. 864 (links), 868-869.  
Siemens Ned. NV, Den Haag: pag. 864.  
Photo CERN, Genève: pag. 865.  
Fermilab, Batavia, Illinois: 866 links.  
Geert Hendrickx, N&T: pag. 866 rechts, 869.  
The Royal Marsden Hospital, London: 867.  
ECN, Den Haag: pag. 868.  
Afdeling Technische Natuurkunde, TH Delft: pag. 871.  
De overige illustraties zijn afkomstig van de auteur.





A photograph of a desert landscape. In the foreground, a gnarled, light-colored tree trunk with a few green leaves stands on the sand. In the background, there are rolling sand dunes under a clear blue sky. The overall scene illustrates the concept of erosion in a natural environment.

# EROSIE

## Verweer tegen verwerking

Een van de grootste bedreigingen voor de bodem, en daarmee voor onze voedselvoorziening, is het optreden van erosie. Onder invloed van wind of water wordt vaak vruchtbaar materiaal weggevoerd. Dit probleem doet zich in de hele wereld voor. In veel gevallen wordt erosie door de mens veroorzaakt. Soms gebeurt dat uit pure noodzaak, soms echter is erosie een (onvoorzien) neveneffect van bijvoorbeeld moderne landbouwmethoden.

De aard en de omvang van het probleem maken dat tegenmaatregelen dringend geboden zijn. In de rijke landen zijn deze vermoedelijk vrij eenvoudig toe te passen. In de derde wereld, waar het probleem vaak veel nijpender is, zijn ingrijpende sociaal-economische veranderingen nodig om aan het erosieprobleem een einde te maken.

**Thomas Verhaegen**  
*Winksele*

Planten spelen een belangrijke rol bij het tegengaan van erosie. Met hun wortels houden zij de bodem vast. Veel erosie ontstaat doordat hele gebieden van hun vegetatie worden ontdaan. Deze boom in Mauretanië heeft zich nog kunnen handhaven, hoewel al veel zand tussen de wortels verdwenen is.



## Bodemerose is wereldwijd

De bodem is de bovenste laag van de aardkorst waar de meeste planten, waaronder de geteelde gewassen, in wortelen. Om deze reden is hij van het grootste belang voor zowel de levende natuur als de menselijke samenleving; de mens is er voor zijn voedselproductie nagenoeg volledig van afhankelijk.

Bodemerose, de fysieke aantasting van de bodem, waarbij onder invloed van wind of water materiaal wordt weggevoerd, vormt over de hele wereld een ernstige bedreiging voor de bodem. Volgens schattingen zou driekwart van alle cultuurgrond in de wereld in min of meer ernstige mate aan bodemerose onderhevig zijn. Deze ondermijning van de voedselproducerende ecosystemen is echter niet in de eerste plaats een natuurlijk gebeuren, maar een gevolg van onoordeelkundige menselijke activiteiten.

In de geschiedenis vindt men talrijke voorbeelden van de catastrofale gevolgen die bodemerose kan hebben. Het Libanongebergte, dat de ruggesgraat vormt van het gelijknamige land, was eens bedekt met een rijk bestand aan cederwouden. Rond 3000 v. Chr. begonnen de Feniciërs echter met het vellen van deze wouden voor de bouw van koopvaardijschepen. Grote hoeveelheden hout werden uitgevoerd naar het oude Egypte en Mesopotamië. In de periode waarin de Romeinen de heerschappij over Libanon uitoefenden, was het grootste deel van de cederwouden reeds voorgoed verdwenen. Tegenwoordig is dit bergmassief even dor als de bergen van de Sahara. Een struikachtige vegetatie probeert zich koppig in leven te houden te midden van kale rotsblokken waarvan de bodem is afgespoeld. Een soortgelijke situatie vindt men terug in de meeste andere landen rond de Middellandse Zee.

Een tweede voorbeeld zijn de grote stofstormen in de Great Plains (Verenigde Staten) gedurende de jaren dertig. Het stof bestond uit opwaaierende vruchtbare bodemdeeltjes. Zij deden de bevolking inzien, dat zij het ecosysteem aan het vernietigen waren door akkerbouw te stimuleren in gebieden met een regelmatig watertekort.

Ook nu nog gaat de mens in vele gebieden ongestoord verder met het ondermijnen van voedselproducerende ecosystemen. De hon-



gersnood in de Sahellanden wordt naast de uitzonderlijke droogte ook voor een belangrijk deel door de mens veroorzaakt. Door systematische overbegrazing wordt de vegetatie volledig weggegeten, zodat de vruchtbare bodemlaag door de wind kan worden afgevoerd. Het uiteindelijke resultaat is een woestijn, waar niets meer kan groeien. Door de ongecontroleerde rooibouw op het oerwoud, voor brandhout of voor de aanleg van akkers, is de mens ook in de tropen zijn milieu aan het vernietigen. De braakliggende bodems spoelen er immers door de overvloedige neerslag gemakkelijker weg.

Ook in West-Europa zijn de gevolgen van de bodemerose niet te onderschatten. Zo schat men de jaarlijkse erosieschade voor België op meer dan 1,5 miljard frank.

### Erosietypen

Men kan drie belangrijke typen bodemerose onderscheiden, namelijk: de wind- en watererosie en het massatransport. Bij de





ming meer geconcentreerd verloopt, spreekt men van rill- en geulerosie. Rills kunnen nog verwijderd worden door ploegen; geulen hebben echter zulke afmetingen dat ze niet meer weggewerkt kunnen worden door eenvoudig te ploegen. Welk type afspoeling men krijgt, hangt af van een hele reeks factoren zoals de hellingsgraad, de aard van het bodemmateriaal enz.

Met massatransport bedoelt men de verplaatsingen van bodem- of gesteentemateriaal onder invloed van de zwaartekracht. De verplaatsingssnelheid kan variëren van niet-direct waarneembaar kruipen (creep) tot het snelle overdonderende geweld van lawines.

Op de zuidflanken van de Himalaya, in de Indiaanse Deelstaat Uttar-Pradesh, vindt op grote schaal ontbossing plaats. Daardoor kan de vruchtbare toplaag van de bodem niet vastgehouden worden. Deze spoelt weg als het regent en wordt via rivierbeddingen afgevoerd.

winderosie wordt het bodemmateriaal getransporteerd door de wind; terwijl dat bij de watererosie gebeurt door tussenkomst van water. We zullen eerst de watererosie bespreken.

De inslag van de regendruppels zal de bodemdeeltjes in alle richtingen doen opspatten. Dit proces noemt men *spaterosie* en het zou in vele gevallen een zeer belangrijke rol spelen bij het losmaken van het bodemmateriaal, dat vervolgens door het afstromende water kan worden meegevoerd. De kinetische energie van de inslaande regendruppels veroorzaakt bovendien een oppervlakkige vervloeiing en verdichting van de bodemtoplaag. Dit proces noemt men *verslumping* en het bepaalt in belangrijke mate de snelheid waarmee het water in de bodem infiltreert. Vanaf het ogenblik dat de neerslagintensiteit hoger is dan de infiltratiesnelheid, krijgt men op een helling afspoeling en *run-off-erosie*. Hierbij maakt men onderscheid tussen sheet-, rill- en geulerosie.

Bij sheet-erosie krijgt men een afstroming over een breed oppervlak. Wanneer de afstro-

### De oorzaken van de versnelde erosie

In de meeste ontwikkelingslanden is de oorzaak van de versnelde erosie in de eerste plaats de te grote bevolkingsdruk. De bevolkingsgroei is in de meeste van deze landen gemiddeld 2 procent per jaar. Daar al de goede landbouwgrond reeds in gebruik genomen is, zijn de landbouwers genoodzaakt om voor hun voedselvoorziening minder gunstige gebieden in gebruik te nemen. Zo hebben bijvoorbeeld de boeren uit Nepal en Peru de steile hellingen van de Himalaya en de Andes in gebruik genomen. Op deze steile berghellingen heeft men echter onvermijdelijk sterke erosie. Als gevolg hiervan zijn de boeren genoodzaakt om reeds na enkele jaren deze akkers te verlaten en op een andere plaats opnieuw te beginnen. Bovendien hebben de landbouwgebieden aan de voet van deze gebergten als gevolg hiervan in toenemende mate met overstromingen en sliboverlast te kampen.

Een ander gevolg van de sterke bevolkingsgroei is de schaarste aan brandhout. Voor het



grootste deel van de bevolking van deze landen is hout de enige energiebron. Daardoor zijn hele gebieden, die eens bedekt waren met een dichte vegetatie, nu troosteloze landschappen zonder bomen of struiken, waar wind en water vrij spel krijgen. In sommige landen van Centraal-Afrika en het Indische subcontinent neemt voor veel mensen het zoeken naar hout een groot deel van de dag in beslag.

De hongersnood in de Sahellanden is ten dele te wijten aan de uitzonderlijke droogte maar ook voor een belangrijk deel aan de versnelde erosie, veroorzaakt door de mens. Vee is voor de meeste van deze nomadenvolkeren een teken van rijkdom, zodat ze steeds trachten een zo groot mogelijke kudde te bezitten. Vroeger bleef de omvang van de veestapel beperkt door allerlei ziekten. Door het toenemend gebruik van vaccins en dergelijke is het aantal dieren echter geleidelijk toegenomen. Het gevolg hiervan is overbegrazing, waarbij de vegetatie volledig wordt weggegeten. De dunne vruchtbare bodemlaag wordt dan door de wind afgevoerd. Het resultaat is een onomkeerbare uitbreiding van de woestijn. Deze ontwikkeling wordt nog versterkt doordat de meeste regeringen maatregelen namen om het nomadisme af te remmen en de nomaden een vaste woonplaats te geven. Dit leidde tot een concentratie van vee rond diepe bronnen en tot onvermijdelijke overbegrazing.

De oorzaken van versnelde bodemerosie in West-Europa en de Verenigde Staten zijn niet van dezelfde aard als in de ontwikkelingslanden. Een eerste belangrijke oorzaak is het toenemend gebruik van kunstmest in plaats van dierlijke of plantaardige meststoffen. Deze laatste hebben het voordeel dat ze de stabiliteit van aardkluiten gunstig beïnvloeden. De inslag van regendruppels heeft dan minder effect. Kunstmest bezit deze eigenschap niet. Het toenemend gebruik van kunstmest heeft dan ook tot gevolg dat de bodems sneller verslempen. Er kan minder neerslagwater in de bodem infiltreren en er zal dus meer water als run-off afspoelen.

Ook de toename van het gebruik van onkruidverdelgers heeft een negatieve invloed op de bodemerosie. Door de afwezigheid van onkruid wordt de infiltratie immers aanzienlijk afgeremd en de afspoeling bevorderd.

De ruilverkaveling, die in de meeste landen van West-Europa wordt doorgevoerd, veroor-

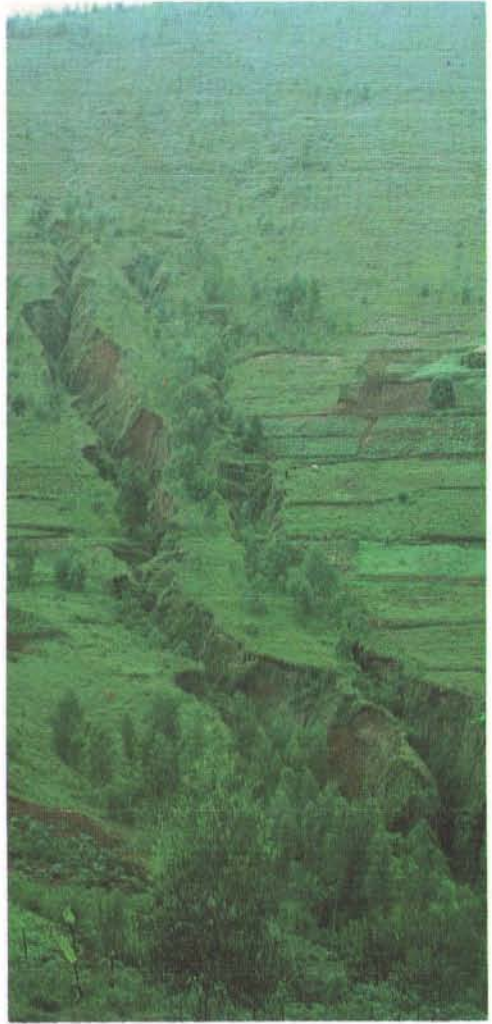


Geheel boven: Erosie met geulvorming op een akker in de leemstreek van Midden-België. De rills ontstaan zeer dikwijls in tractersporen. Deze vormen kleine depressies, waarin water zich gemakkelijk verzamelt. Doordat de bodem daaronder compact is, is de infiltratie er geringer. Op de inzet is te zien dat het run-off-water in staat is keien van enkele cm diameter mee te voeren.

Geheel rechtsboven: Deze ravinestelsels op een in cultuur gebrachte helling in Rwanda onstonden door een verkeerde aanleg van horizontale grachtjes die gegraven waren om afspoelend water op te vangen en zo erosie te verminderen. De ravijnen ontstonden op plaatsen waar het water zich verzamelde en van de helling afstroomde.

Rechtsboven: De verslemping van de toplaag van een bodem in Rwanda. Doordat de neerslagintensiteit groter is dan de infiltratie, vormen zich plasjes.





zaakt eveneens een toename van de bodemerrosie. Ruilverkaveling heeft tot doel de versnippering van kleine akkertjes ongedaan te maken en deze te vervangen door grotere akkers, die sneller en gemakkelijker te bewerken zijn. Daardoor verdwijnen echter veel omheiningen, hagen, taluds (graften) enz., die een efficiënte bescherming tegen bodemerrosie vormen. Wind en water krijgen er nu vrij spel.

Een vierde oorzaak is het gebruik van steeds zwaardere landbouwmachines. Hierdoor wordt de toplaag steeds compacter, zodat er minder neerslagwater kan infiltreren en meer water als run-off afstroomt.

### Erosieschade

Bij de erosieschade moet men onderscheid maken tussen schade die gevolgen heeft op korte termijn en schade, die pas op lange termijn zichtbaar wordt.

Bij de watererosie wordt de belangrijkste schade op korte termijn veroorzaakt door de verslemping van het bodemoppervlak. Door de vervloeiing en verdichting van de toplaag wordt het ontkiemen van zaaigoed verhinderd en kan het noodzakelijk zijn opnieuw in te zaaien. Voor de akkers op een helling, kan dit gevaar nog versterkt worden, doordat onder-



aan de helling het afgespoelde materiaal zich gaat verzamelen en er een compacte laag vormt (colluviatie), waardoor zaden er niet kunnen ontkiemen.

De erosie kan eveneens tot gevolg hebben dat een deel van het zaaigoed met de bodem wordt weggespoeld zodat op deze manier ook een vermindering van de opbrengsten ontstaat. Bij winderosie kunnen de planten beschadigd worden door de schurende werking van de meegevoerde bodemdeeltjes. Ook kunnen de planten bedolven worden onder afgezet bodemmateriaal.

De schade op lange termijn is echter veel belangrijker. In de eerste plaats veroorzaakt de bodemerosie verontreiniging van het oppervlaktewater met colloïdale bodemdeeltjes en met stikstof- en fosfaatverbindingen afkomstig van kunstmest. Bovendien verhoogt de bodemerosie in sterke mate het gevaar voor overstromingen. Zo zijn de grote overstromingen in bijvoorbeeld de vlakte van de Gele rivier (Yang-tse Kiang, China), die in alle eeuwen plaatsvonden, in de eerste plaats een gevolg van de sterke bodemerosie van het stroomopwaarts gelegen Chinese Leemplateau. Een groot deel van het aangevoerde slib bezinkt immers in de rivier, waardoor het waterniveau geleidelijk aan stijgt en overstromingen slechts kunnen worden verhinderd door het continu oplopen van de dijken.

De belangrijkste schade, die de bodemerosie op lange termijn veroorzaakt, is echter het dunner worden of geheel verdwijnen van de bodem, waardoor ofwel vaste rots, ofwel onvruchtbare onderliggende lagen aan de oppervlakte verschijnen. Gebieden, waar dit gebeurt, worden onbruikbaar voor de landbouw en veranderen onomkeerbaar in 'woestijnen'. De ontwikkeling van een nieuwe bodem vereist immers een zeer lange periode, variërend van enkele honderden tot duizenden jaren, al naar gelang de aard van het bodemmateriaal, het klimaat enz.

Dit gevaar bedreigt onder andere grote delen van het Amazonewoud in Brazilië. Grote delen van dit woud worden kaalgekap voor de aanleg van akkers. Vanwege de overvloedige neerslag spoelt de bodem in enkele jaren volledig weg, zodat de akkers verlaten moeten worden en er een troosteloos landschap overblijft, waar zelfs het oorspronkelijke regenwoud zich niet kan herstellen.

## Maatregelen tegen bodemerosie

Om overdreven bodemerosie tegen te gaan kan men een beroep doen op een hele reeks cultuur-technische maatregelen. Deze moeten echter aan een reeks voorwaarden voldoen. Om te beginnen moeten ze financieel haalbaar zijn. Bovendien mogen de maatregelen niet tot toename van de agrarische bevolkingsdruk leiden, door bepaalde gebieden voor de landbouw uit te sluiten. Tenslotte is het belangrijk dat de bevolking het rendement van de maatregelen op korte en lange termijn ziet. Het zal duidelijk zijn dat deze voorwaarden vooral voor ontwikkelingslanden van belang zijn.

Voor deze landen wordt daarom o.a. aan de volgende maatregelen gedacht:

– *strokenbouw*: deze methode bestaat erin dat men verschillende gewassen met onder andere meerjarige gewassen, zoals koffie- en cacaoplanten, in rijen naast elkaar plant. Op deze manier zorgt men ervoor dat de bodem nooit volledig braak ligt maar steeds een zekere bescherming heeft;



Boven: In Uttar Pradesh lijdt de bevolking door de ontbossing omdat de dagelijkse brandhoutvoorziening in gevaar komt. Daarom, en om hun natuurlijk milieu te beschermen, verdedigen zij de bomen met hun eigen lijf, door ervoor te gaan staan als groepen houthakkers verschijnen.

Rechts: Als gevolg van de toenemende bevolkingsdruk en het feit dat goede landbouwgronden in handen zijn van grootgrondbezitters zijn arme boeren in Peru gedwongen om steile Andes-hellingen in cultuur te brengen. Ook hierdoor ontstaat veel erosie.



– *mulching*: hierbij bedekt men de braakliggende bodem tussen de planten met stro, bladeren, gewasresten enz.;

– *terrassen*: door het aanleggen van terrassen op een berghelling, spoelt het neerslagwater niet meer af en is er dus ook geen run-off-erosie meer. Deze methode wordt vooral toegepast in de bergachtige gebieden van Zuidoost-Azië, omdat de rijstteelt eveneens bevoeiing vereist. Het aanleggen van terrassen is echter zeer omslachtig en duur; bovendien is constant onderhoud noodzakelijk. Tenslotte is het helemaal niet zeker dat terrasconstructies steeds erosiebestendig zijn. Bij extreem hoge neerslaghoeveelheden is het immers mogelijk dat de walletjes aan de rand van een terras het begeven en er op deze manier een enorme hoeveelheid water naar beneden stroomt;

– *herbebossen van de waterscheidingslijnen*: bij het herbebossen moet men echter zeer selectief te werk gaan. Door deze ingreep vermindert immers het areaal landbouwgrond, zodat de druk op de resterende landbouwgrond zal toenemen.

Fundamentele oplossingen voor het erosieprobleem van de ontwikkelingslanden zijn zowel een afremmen van de bevolkingsgroei als sociaal-economische hervormingen. Door het afremmen van de bevolkingsgroei zullen de lokale boeren minder genoodzaakt zijn om gebieden, zoals bijvoorbeeld steile hellingen, die zeer erosiegevoelig zijn, in gebruik te nemen. Sociaal-economische hervormingen zouden er bijvoorbeeld in kunnen bestaan, dat de rijkdom van de nomaden in de Sahellanden niet meer wordt gemeten op basis van het aantal stuks vee. Op deze manier kan men er de overbegrazing tegengaan.

### Maatregelen in Europa

Voor de gemechaniseerde landbouw is een andere benadering nodig:

– *meer gebruik van organische mest in plaats van kunstmest*: op deze manier zal de structuur van de bodem verbeteren, zodat er meer water in de bodem kan infiltreren en er minder oppervlakkig zal wegstromen. Hiervoor zou



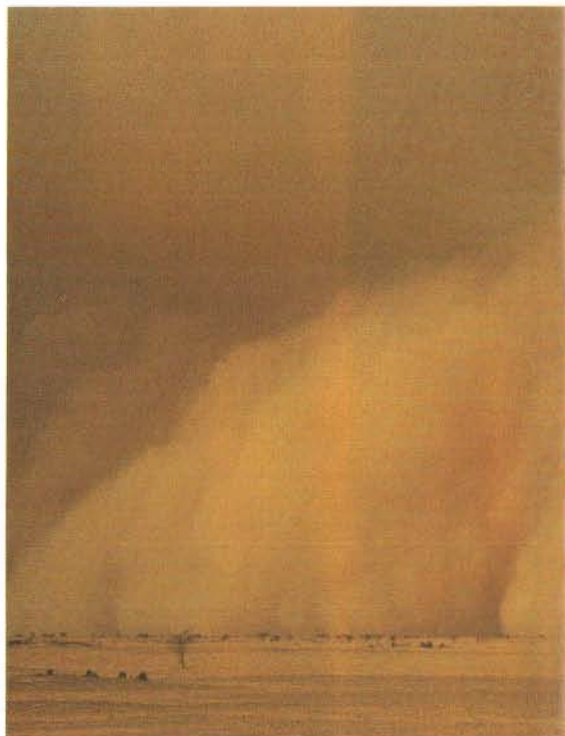


Boven: Een van de maatregelen waarmee erosie kan worden tegengegaan is het ploegen van akkers, evenwijdig aan hoogtelijnen, het zgn. contourploegen.

Rechts: Als de wind vrij spel krijgt op de losliggende top-laag van een uitgedroogde bodem, kunnen enorme stof- of zandstormen ontstaan. Jaarlijks worden op deze manier enorme oppervlakten land voor de landbouw onbruikbaar.

men onder andere de grote hoeveelheden dierlijke mest van de industriële varkenswekerijen, die tot nu toe te weinig benut wordt, kunnen gebruiken. Een probleem is echter de aanwezigheid van zware metalen in deze mest;

- *contourploegen*: de akkers op hellingen worden meestal van boven naar onder geploegd, dus loodrecht op de hoogtelijnen. Dit heeft echter het nadeel dat het regenwater zich in de voren verzamelt en gemakkelijk naar beneden stroomt en zo erosie veroorzaakt. Door contourploegen, het ploegen evenwijdig met de hoogtelijnen, kan dit vermeden worden. Tijdens zeer natte perioden met hevige regens, heeft deze methode het risico dat sterk gelokaliseerde en diepe ravijnen ontstaan. Immers door het overlopen van de voren en zij-





waarts weglopen van het regenwater, ontstaan vooral in inhammen in heuvels, stroomnetten met grote debieten en erosiekrachten.

De meest doeltreffende oplossing om de bodemerrosie tegen te gaan is volgens prof. De Ploey uit Leuven echter waarschijnlijk het systeem van *minimale grondbewerking*; een systeem dat vooral in de Verenigde Staten opgang maakt. Het betekent dat men de bodem praktisch niet meer ploegt; stoppels blijven staan en onkruid wordt doodgespoten met onkruidverdelgers. Op deze manier wordt er een bodemconserverende laag van gewas- en onkruidresten gevormd, zodat er meer neerslagwater in de bodem kan infiltreren. Met speciale machines trekt men voren, waarbij men de gewone teelten kan inzaaien. Een uiteindelijke evaluatie van de minimale grondbewerking zal echter slechts mogelijk zijn na een uitgebreid experimenteel programma.

Eén van de grootste problemen bij het toepassen van al deze cultuur-technische ingrepen is echter het overtuigen van de landbouwers. In vele gebieden is het immers zo dat de jaar-

lijkse erosieschade voor de landbouwers binnen de perken blijft. De landbouwers zullen dan ook niet geneigd zijn hun landbouwmethodes te veranderen. Op lange termijn kan dit echter funeste gevolgen hebben. De slechts matige erosie kan immers betekenen dat een bodem na enkele tientallen jaren volledig is weggespoeld, met als resultaat een akker, die totaal ongeschikt is voor de landbouw.

### Erosie kan soms nuttig zijn

Algemeen kan men stellen dat de erosie een ernstige bedreiging vormt voor de landbouw en men dus maatregelen moet nemen om de schade te beperken.

Prof. Ya'ir uit Jeruzalem stelde echter vast dat in zeer droge gebieden, met een neerslaghoeveelheid van minder dan 200 mm per jaar, erosie nuttig kan zijn. Immers als er overal nog een dunne bodem aanwezig is, zal er bij de neerslag die er valt overal water in de bodem infiltreren. Dit zal echter vlug verdampen. Gevolg daarvan is dat de bodem geleidelijk verzout, zodat de landbouwmogelijkheden beperkt blijven. Indien de bodem echter op de hellingen is weggeërodeerd en men er dus enkel vaste rots heeft, spoelt al het neerslagwater weg en verzamelt zich in de lager gelegen gebieden. Doordat de hoeveelheid water, beschikbaar voor de planten op deze plaatsen zeer sterk toeneemt, zijn de landbouwmogelijkheden daar ook veel groter.

Ook in West-Europa en de Verenigde Staten is bodemerrosie niet steeds slecht. Een geringe bodemerrosie kan immers een verjonging van de bodem betekenen. Hierdoor komt er chemisch en mineralogisch rijker materiaal aan de oppervlakte, dat door de planten gebruikt kan worden.

### Literatuur

David. G. Smith (red.), (1984). *Cambridge Encyclopedie van de Aardwetenschappen*. Natuur en Techniek, Maasticht. ISBN 90 228 2242 7.

### Bronvermelding illustraties

Yvan Trabert, Agence Hoa-qui, Parijs: pag. 872-873.

Hannes Wallrafen, Amsterdam: pag. 874-875, 878.

Peter Pennarts, Montfoort: pag. 879.

Prof. dr. Hans-Karl Barth, Dhahran, Saoedi-Arabië/Bild der Wissenschaft: pag. 880, 880-881.

De overige foto's zijn afkomstig van de auteur.

# ACTUEEL

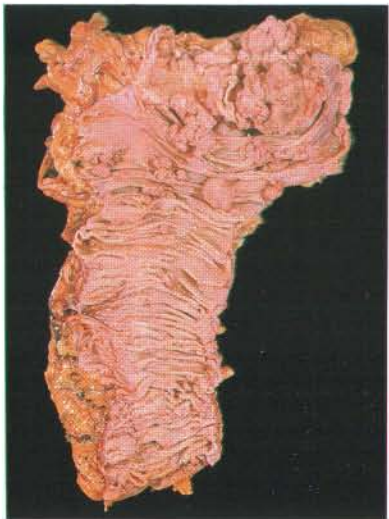
Nieuws uit wetenschap, technologie en samenleving

## natuur en techniek

### De tumor van Ronald Reagan

In maart j.l. onderging president Ronald Reagan routinematig een lichamelijk onderzoek waarbij o.a. ook gekeken werd naar eventuele bloedsporen in zijn ontlasting. De Amerikaanse president leed al enkele jaren aan poliepen in zijn darm, en de artsen wilden er zeker zijn dat geen daarvan was ontstaan in een kwaadaardig kankergezweel. Als er bloedsporen zouden zijn zou dit op zo'n coloncarcinoom (kanker van de dikke darm) kunnen duiden. Er werden vier tests op bloedsporen uitgevoerd, waarvan er twee positief uitvielen en twee negatief. Aangezien bepaalde voedingsbestanddelen zoals vlees, vis, vers fruit en vitamine C-tabletten ook tot bloed in de ontlasting kunnen leiden, werd Rea-

Een beginnend carcinoom in de darm (rechtsboven op de foto).



gan door zijn artsen een dieet opgelegd waarin deze componenten en stoffen ontbraken. Vervolgens werden zes bloedbepalingen uitgevoerd met als resultaat: alle negatief. De artsen concludeerden dat Reagan geen darmkanker had.

Enkele maanden later werd echter door colonoscopie (inwendig darmonderzoek met een flexibele slang) een groot, kwaadaardig gezweel aangetoond op het stijgend gedeelte van de darm, vlak bij de appendix. Blijkbaar zat die tumor daar al jaren en groeide rustig voort, maar gaf geen bloedsporen af in de faeces.

Dit geval met Reagan is een typisch voorbeeld met welke problemen men te maken krijgt bij de vroegdiagnostiek van het coloncarcinoom. De test op bloedsporen in de faeces (Haemocult-test) berust op een reactie van het bloed met lakmoespapier dat guaiac bevat. Het papiertje wordt blauw als het met bloed in aanraking komt. Wanneer men zo'n kleuromslag krijgt wil dat echter nog helemaal niet zeggen dat er ook sprake is van darmkanker, want zoals gezegd kan dat ook door het dieet komen. In werkelijkheid blijkt in hoogstens 5-10 procent van de gevallen waarbij de haemoculttest positief uitvalt ook werkelijk sprake te zijn van kanker. Ook het omgekeerde kan gebeuren, d.w.z. een negatief resultaat van de haemoculttest terwijl de patiënt achteraf toch darmkanker blijkt te hebben. Dergelijke vals-negatieve uitslagen komen zelfs zeer veel voor, in 30-50 procent van de gevallen. Reagan was dus ook zo'n geval. Hoe komt het nu dat als iemand een darmtumor heeft, dit toch niet leidt tot aantoonbare bloedsporen? Eén van de redenen is dat sommige coloncarcinomen niet regelmatig bloeden maar met tus-

senpozen. Wanneer men dus de haemoculttest uitvoert in zo'n latent interval, vindt men geen bloedsporen. Daar komt nog bij dat als de tumor bloedt, hij dat flink moet doen, want anders raakt er nog niet voldoende bloed in de ontlasting. Het komt soms wel voor dat patiënten aan anemie (bloedarmoede) lijden ten gevolge van een coloncarcinoom, terwijl de haemoculttest negatief is! De test is dus betrekkelijk ongevoelig. Hij moet bovendien met verse faeces worden uitgevoerd, want als die is uitgedroogd doordat hij enkele dagen bewaard is, werkt de test niet meer. Toevoeging van water aan de faeces is dan ook niet goed, want dit kan weer tot vals-positieve uitslagen leiden.

Aangezien dus de haemoculttest op zichzelf niet betrouwbaar genoeg is om de diagnose coloncarcinoom te stellen, moet men om zekerheid te krijgen daarnaast ook inwendig darmonderzoek verrichten. Palpatie (voelen) met de vinger is niet voldoende want daarmee bestrijkt men maar een tiende van de totale lengte (ca. 1 m) van de dikke darm. Een sigmoidoscoop (een starre of flexibele buis) reikt verder, maar is ook nog niet lang genoeg. Er rest nog slechts het gebruik van de colonoscoop, een zeer lange, dunne slang met vezeloptiek om het inwendige van de colon te bestuderen, en daarnaast het maken van contrastfoto's. Deze onderzoeken zijn ook bij Reagan uitgevoerd en daarmee werd zijn kwaadaardige tumor gelocaliseerd. Het spreekt echter vanzelf dat dergelijke belastende onderzoeken niet geschikt zijn voor gebruik bij bevolkingsonderzoek.

**Dr. M. Sluyser**

Ned. Kankerinstituut, Amsterdam



## Revolutionaire bunzenbrander

Een trouwe dienaar in het chemisch en biologisch laboratorium is de bunzenbrander. Iedereen die er wel eens mee gewerkt heeft, weet dat je die voorzichtig moet aansteken met weinig gas- en helemaal geen luchttoevoer. Brandt de vlam dan kan de gaskraan verder open. Door ook nog het schijfje van de luchttoevoer los te draaien krijgen we een mooie blauwe vlam. Verantwoord uitzetten gaat in de omgekeerde volgorde. Ook dit apparaat is vatbaar voor innovatie, zo blijkt nu de zgn. Fireboy op de markt is gekomen, een elektrische bunzen-

brander die voorzien is van nogal wat veiligheidsvoorzieningen. Zo wordt automatisch de gastoevoer gesloten als de vlam uitwaait, als de elektriciteit uitvalt en als de installatie oververhit raakt. Een ander voordeel is dat het apparaat is voorzien van een voetschakelaar: zodra die losgelaten wordt, dooft de vlam. Het is echter ook mogelijk om met een traploze tijdschakelaar de brandtijd van 10 tot 60 minuten in te stellen. Deze brander neemt dus letterlijk veel werk uit handen.

*(Persbericht Amstelslad B.V.)*



De Fireboy, een eigentijdse goed beveiligde bunzenbrander, is geschikt voor aardgas, butaan en propaan. Het gaslucht-mengsel kan traploos worden ingesteld.



## DNA zichtbaar: koud kunstje

In een elektronenmicroscop wordt een elektronenbundel gebruikt om het hele kleine zichtbaar te maken. Hoe meer je een object vergroten wil, des te sterker moet die bundel zijn. Naarmate de intensiteit echter toeneemt, wordt het voorwerp meer door de elektronen beschadigd. Om die beschadigingsreacties te vertragen wordt het object sterk

gekoeld, meestal met vloeibare stikstof tot  $-190^{\circ}\text{C}$ . Een groep Japanse onderzoekers is overgegaan tot superkoeling van hun object met behulp van helium en heeft zo foto's kunnen maken van DNA-molekuulstructuren bij  $-266^{\circ}\text{C}$ . Zij wisten op die manier een oplossend vermogen te bereiken van 0,6 nm, 0,3 nm beter dan bij stikstofkoeling.

Opmerkelijker dan het oplossend vermogen is de claim van de onderzoekers dat hun DNA onbeschadigd op de foto is gezet. Preparatiebeschadigingen werden voorkomen door de superkoeling heel snel te laten plaatsvinden. Hierdoor werden er geen ijskristallen gevormd en bleef nagenoeg de natuurlijke hoeveelheid water in het DNA achter. Hierdoor was dehydratatie (ontwatering) vooraf niet nodig en bleef de structuur gehandhaafd.

Het probleem dat de onderzoekers vervolgens moesten oplossen was het aan de kook raken van het helium, waardoor het DNA gaat trillen en niet scherp op de foto komt. Het object werd daarom op een roostertje van een zilver-platinalegering geplaatst waardoor de warmte ervan zeer goed afgevoerd kan worden naar een met het roostertje verbonden heliumtank.

De werkwijze leverde foto's van de dubbel-helix-structuur op met een uiteindelijk scheidend vermogen van 2 nm. Door een nog krachtiger microscoop te gaan gebruiken hoopt het team foto's te kunnen maken, waarop details ter grootte van 0,4 nanometer zichtbaar zijn. Pas dan kan de techniek gebruikt worden voor structuuranalyses van nucleïnezuren en eiwitten op moleculair niveau.

*(New Scientist)*

## Donder en astma

Een razende onweersbui mag dan heel wat mensen de stuipen op het lijf jagen, ernstig wordt het pas voor astmapatiënten die letterlijk de lucht om van te leven ontnomen wordt. Hoe donder en bliksem precies astma-aanvallen veroorzaken is nog niet duidelijk, maar twee onderzoekers van het East Birmingham Hospital hebben wel een paar factoren kunnen

aanwijzen, die van invloed lijken te zijn.

Zij hebben daartoe de weergegevens van enkele plaatsen rond Birmingham vergeleken met patiëntgegevens van acht Birminghamse ziekenhuizen. Alle verwerkte data werden vergaard op 6 en 7 juli '83, toen er 's nachts een hevig onweer over de West-Midlands trok.

In die bewuste nacht kregen de ziekenhuizen 7 keer zoveel patiënten met acute ademnood te behandelen. Dit was zeker niet te wijten aan industriële luchtverontreiniging; deze was bepaald laag te noemen. Ook de suggestie dat er een wolk 'Saharazand' als boosdoener aan te wijzen was, konden de onderzoekers van de hand wijzen.

De beide medici wezen als eerste oorzaak de enorme toename aan van een aantal schimmelsporten die juist tijdens of na regen worden afgegeven. De harde wind hielp nog een handje bij de verspreiding ervan. Al langer was bekend dat deze sporen allergieën zijn (d.w.z. allergische reacties veroorzaken).

Ook suggereerden de onderzoekers het optreden van een non-specifieke allergische reactie. Veel van de patiënten bleken namelijk te lijden aan hooikoorts, een allergie voor pollenkorrels van met name grassen. De weken voor het onweer waren erg droog, met hoge concentraties pollen in de lucht. Hierdoor zouden de luchtwegen zo geprikkeld zijn, dat niet alleen pollenkorrels maar ook allerlei andere stimuli een allergische reactie opwekken. De sterke daling van de temperatuur, waarmee de storm gepaard ging, zou zo'n non-specifieke stimulus zijn.

Een derde bijdrage aan de epidemie zou geleverd zijn door de grote potentiaalverschillen en de met een onweer gepaard gaande ionenverschuivingen in de atmosfeer. In het verleden is al wat bewijsmateriaal geleverd omtrent het verband tussen veranderingen in ionensamenstelling en astmati-

sche shock, maar het is nog onduidelijk in hoeverre deze veranderingen bij onweer een reële bijdrage aan de aanvallen kunnen leveren.

De vraag is nog steeds, waarom niet eerder een verband tussen onweer en astma is waargenomen. Is er sprake geweest van een unieke combinatie van factoren, of zijn er factoren in het spel die nog niet worden herkend?

(The Lancet)

## Bellen zonder handen

Onder de naam Multimil Memo-tel is een compleet telefoontoestel op de markt gebracht waarmee men comfortabel en geheel handen-vrij kan telefoneren.

Zonder de hoorn op te nemen kan men met de Multimil via een toetsdruk (waarvoor even gesmokkeld moet worden, het gaat het handigst met de hand) relaties bellen en vervolgens geheel handen-vrij spreken en luisteren. Bij in-gesprek wordt het nummer automatisch herhaald. Wachten na 'ik verbind u door' en 'het toestel is in-gesprek' deert niet meer, men kan gewoon doorwerken of zich voorbereiden op het te voeren gesprek. Ook herinnert de Multimil op de juiste tijd en datum aan nog te bellen relaties. Het geheugen van 148 nummers laat zich eenvoudig uitbreiden door het insteken van een elektronische geheugenkaart, de Memo-card. Een hoorn voor het voeren van een vertrouwelijk gesprek completeert het toestel. Maar vertrouwelijkheid moet men in de hand houden.

(Persbericht CitoCom)

NATUUR en TECHNIEK verschijnt maandelijks, uitgegeven door de Centrale Uitgeverij en Adviesbureau B.V. te Maastricht.

Redactie en Administratie zijn te bereiken op:

Voor Nederland:

Postbus 415, 6200 AK Maastricht.

Telefoon: 043-254044\*.

Voor België:

Tervurenlaan 32, 1040-Brussel.

Telefoon: 00-3143254044.

Bezoekadres:

Stokstraat 24, Maastricht.

Advertentie-exploitatie:

D. Weijer. Tel. 05987-23065.

De Centrale Uitgeverij is ook uitgever van de Cahiers van de Stichting Bio-Wetenschappen en Maatschappij.

Abonnees op Natuur en Techniek of studenten kunnen zich abonneren op deze cahiers (4 x per jaar) voor de gereduceerde prijs van f 30,- of 450 F.

Abonnementsprijs (12 nummers per jaar, incl. porto):

Voor Nederland, resp. België:

f 95,- of 1825 F.

Prijs voor studenten: f 72,50 of 1395 F.

Overige landen: + f 35,- extra porto (zeepost) of + f 45,- tot f 120,- (luchtpost).

Losse nummers: f 8,45 of 160 F (excl. verzendkosten).

Abonnementen op NATUUR en TECHNIEK kunnen ingaan per 1 januari of per 1 juli, (eventueel met terugwerkende kracht) doch worden dan afgesloten tot het einde van het lopende abonnementsjaar.

Zonder schriftelijke opzegging vóór het einde van elk kalenderjaar, wordt een abonnement automatisch verlengd voor de volgende jaargang.

TUSSENTIJDEN kunnen geen abonnementen worden geannuleerd.

Postrekeningen:

Voor Nederland: nr. 1062000 t.n.v. Natuur en Techniek te Maastricht.

Voor België: nr. 000-0157074-31 t.n.v. Natuur en Techniek te Brussel.

Bankrelaties:

Voor Nederland: AMRO-Bank N.V. te Heerlen, nr. 44.82.00.015.

Voor België: Kredietbank Brussel, nr. 437.6140651-07.





## Een 200-duims kijker

Dat onze kennis van de sterrenwereld de laatste twintig jaren een zoo groote vlucht heeft genomen, is voornamelijk te danken aan de schitterende telescopen, die men in gebruik heeft gesteld.

Het meest beroemd is de 100 inch telescoop van de Mount Wilson sterrenwacht te Pasadena in Californië. Deze kijker, verreweg de grootste, maakt het mogelijk spiraalnevels te fotograferen, waarvan wij thans weten, dat het sterrenstelsels zijn op afstanden van millioenen lichtjaren. Toen de 100 inch kijker nog slechts eenige jaren in gebruik was, in 1928, maakte dr. George Hale plannen voor een nog grotere kijker, met een opening van 200 inch.

Men gebruikt groote kijkers, omdat deze veel meer lichtstralen opvangen dan kleine instrumenten of het ongewapende oog. De oppervlakte van de spiegel van de 100 inch kijker is 200.000 maal zoo groot als die van de pupil van het menschelijk oog. En de oppervlakte van de spiegel van de 200 inch kijker is weer vier maal zoo groot. De nieuwe telescoop vangt dus 800.000 maal zoveel licht op als het ongewapend oog. Millioenen objecten, voor het oog onzichtbaar, kunnen met dit instrument bestudeerd worden. Men heeft berekend, dat met de nieuwe telescoop 6000 millioen sterren zichtbaar zijn, terwijl ons oog ongetwijfeld slechts een 3000 sterren kan waarnemen.

De kijkers worden, zooals bekend is, verdeeld in refractoren en reflectoren. Een reflector bevat een concave spiegel, die het beeld ontwerpt. Deze spiegel bevindt zich aan de onderzijde der buis, zoodat het beeld ontstaat in het brandpunt, dat zich boven in de buis bevindt.

Vol verwachting ziet men uit naar deze machtige nieuwe kijker. Of het mogelijk zal zijn de bouw te voltooien en hem in gebruik te stellen, hangt af van de vraag, of het zal gelukken een spiegel te construeeren met deze reusachtige afmetingen. Daartoe is allereerst noodig een glazen schijf met een middellijn van 200 inch, d.i.

508 cm. De *Corning Glass Works* te Corning in de staat New York werken reeds eenige jaren aan de fabricage van zulk een schijf. Na vele proefnemingen is men er te Corning in geslaagd een glassoort met veel borosilicaten samen te stellen, waarvan de uitzettingscoëfficiënt slechts het vierde deel is van die van gewoon glas. Deze glassoort is gebruikt bij het gieten.

Men moest de beschikking hebben over een smeltoven van voldoende capaciteit en men moest een temperoven bouwen, waarin deze groote schijf geleidelijk kon worden gekoeld. Dit koelproces duurt 10 à 11 maanden. In de temperoven bevinden zich 304 verwarmingselementen, die het mogelijk maken de glasschijf zeer gelijkmatig tot kamertemperatuur af te koelen.

In 1934 kwam voor het eerst een glasschijf gereed. Het gietproces verliep niet geheel zonder tegenvallers. Enkele kernen van de gietvorm raakten los doordat de ijzers, waarmede zij bevestigd waren, doorsmolten. Of de spiegel bruikbaar is, kan eerst beoordeeld worden na het slijpen en polijsten. Voor alle zekerheid werd daarna nog een tweede glasschijf met een middellijn van 200 duim vervaardigd, hoewel dit gepaard gaat met hooge kosten en een jaar vertraging. Men zal dan later onderzoeken, welke der beide schijven het best geslaagd is.

Reeds weken lang waren voorbereidingen getroffen. In de grootste smeltoven van de onderneming te Corning bevond zich een 30 à 40 ton glas van de voorgeschreven samenstelling, vloeibaar op een temperatuur van 1500°C. Telkens werd de reusachtige gietlepel in koud water gekoeld en daarna in de smeltoven gebracht. Drie of vier menschen bestuurden hem aan het uiteinde van het lange handvat. Wanneer de lepel gevuld was met het vloeibare glas, werd hij over de rails naar de deur van de gietvorm gebracht. Het glas werd vervolgens uitgegoten in de vorm. Eenige tijd later is deze vorm getransporteerd naar de temperoven om daar gedurende 10 à 11 maanden geleidelijk afgekoeld te worden.



# Wie vliegt er nou elk jaar 170.000 km,



We vliegen wat af boven Nederland. Elke week ongeveer 3300 kilometer – per helikopter. Waarom? Omdat de veiligheid en de zorg voor ons aardgasnet dat vereisen. Onder Nederland ligt meer dan 10.000 kilometer gasbuis en boven de grond staan meer dan 1200 verschillende stations.

Daardoor kunnen bijna alle steden, dorpen, elektrische centrales en industrieën van aardgas worden voorzien.

Dat systeem ligt in de bodem en is weliswaar zeer solide, maar als je zoveel in je spullen geïnvesteerd hebt, mag je niets aan het toeval overlaten.

Er wordt in ons landje immers heel wat afgewroet met

## Ons aardgas is in goede

DE GASUNIE DRAAGT ZORG VOOR DE AARDGASVOORZIENING DOOR INKOOP, TRAN



# alleen om even z'n spullen na te lopen.



*Vliegpaal bij Nieuweroord - een van de ruim 8000 oriëntatiepunten.*

draglines en bulldozers, en een mens is maar een mens.

Vandaar, dat de Gasunie vanuit de lucht permanent een oogje in het zeil houdt. Maar dat niet alleen.

Elke dag zijn op de begane grond zo'n 1000 man in touw om het transportsysteem van aardgas zonder haperen te laten functioneren. U ziet: we zitten niet stil waar het erom gaat het aardgas veilig en ongestoord bij u af te leveren.

Bent u geïnteresseerd in de techniek die bij de aardgasvoorziening te pas komt, vraag dan de brochure „Aardgastransport” aan bij N.V. Nederlandse Gasunie, Postbus 19, 9700 MA Groningen.



## handen bij de Gasunie.

RT, VERKOOP EN HET BEVORDEREN VAN EEN DOELMATIG GEBRUIK VAN AARDGAS.

## MEST

### Van tekort naar overschot

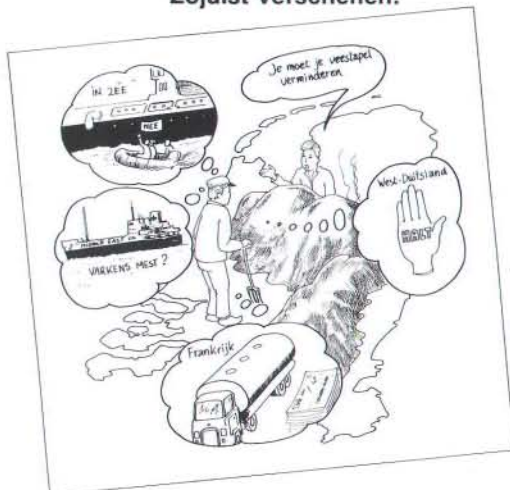
Mestoverschotten dreigen ons te overspoelen en daarbij bodem, lucht en water verregaand te verontreinigen. Ammoniak uit mest veroorzaakt stankoverlast en draagt bij aan het 'zure regen'-probleem. Hierdoor gaat de kwaliteit van de bodem achteruit en bereikt de hoeveelheid nitraat in nabijgelegen drinkwaterputten een alarmerende hoogte.

Sinds het ontstaan van de landbouw staken boeren heel veel werk in het verzamelen van meststoffen van plantaardige en dierlijke oorsprong. Vee werd gehouden om de mest. Tot in de tweede helft van de vorige eeuw was er een groot tekort. Pas met behulp van kunstmest kon men minder vruchtbare grond op grote schaal ontginnen tot landbouwgrond. Vooral in het begin van deze eeuw gebeurde dit.

Op de minst vruchtbare zandgronden ontstond begin jaren zestig de intensieve veehouderij. Vee werd gehouden om het vlees, mest was een bijproduct geworden. De onstuimige groei van de veestapel zorgde voor overproductie van mest. Omdat in de land- en tuinbouw veel kunstmest gebruikt wordt, rijst de vraag of dierlijke mest wellicht kunstmest zou kunnen vervangen. Het is echter te betwijfelen of meststoffen kunnen voldoen aan de hoge eisen die de huidige plantenteelt stelt. Naarstig wordt dan ook gezocht naar methoden om mest kwijt te raken, te verwerken of zelfs te vernietigen.

"Beter laat dan nooit", was de reactie van milieu-organisaties, die al jarenlang vergeefs gewaarschuwd hadden. Boerenorganisaties, die het probleem van het mestoverschot wel erkennen, wensen echter niet dat boeren alléén de dupe worden van de landbouwpolitiek uit heden en verleden.

#### Zojuist verschenen:



Voor abonnees op de Cahiers Biowetenschappen en Maatschappij is dit nummer 2 van de huidige 10e jaargang. Abonnementenprijs (4 cahiers per jaar) f 32,50 of 620 F. Voor studenten en/of abonnees op Natuur en Techniek f 30, -

#### Inhoud en auteurs

##### Voorwoord

##### Bemesting

A. van Diest

##### Geschiedenis van de bemesting

B. van Heuveln

##### De ontwikkeling van de intensieve veehouderij

M. van Daalen

##### Ammoniakproblemen in Nederland

Th.W. Janssen

##### Het verwerken van mestoverschotten

J.H. Voorburg

##### Jonge boeren en de mestproblematiek

G. Titulaer

##### Milieuvisie op de intensieve veehouderij

D. Logemann

of 570 F. Losse nummers f 8,50 of 160 F (excl. verzendkosten).

Verkrijgbaar bij: Natuur en Techniek - Op de Thermen - Postbus 415 - 6200 AK Maastricht. - Tel. 043-254044. Vanuit België: 00-31-43254044



Een **nieuwe**  
uitgave  
van **NATUUR  
& TECHNIEK**

**VERANDEREND NEDERLAND**

Jan Groeneweld

*Een halve eeuw ontwikkelingen op het platteland*



NATUUR & TECHNIEK

Prijs **f195,-**  
of **1825 F**

Tot 1 januari 1986  
verkrijgbaar  
voor de intekenprijs  
van **f169,<sup>50</sup>**  
of **1335 F**

**VERANDEREND  
NEDERLAND**

*en halve eeuw ontwikkelingen op het platteland*



# VERANDEREND NEDERLAND

Een halve eeuw ontwikkelingen  
op het platteland



Wie Nederland wil kennen en begrijpen kan niet om het platteland heen. Maar liefst 80% van de oppervlakte van ons land wordt tot het platteland gerekend. Eén stap buiten de bebouwde kom, en we staan er in. Het platteland is het gezicht van Nederland. Bovendien zijn we er van afhankelijk; in de eerste plaats vanwege ons voedsel, maar ook omdat we die ruimte voor steeds meer andere dingen willen gebruiken.

De Landinrichtingsdienst van het Ministerie van Landbouw en Visserij bestaat vijftig jaar. Gedurende een halve eeuw is deze dienst, die zich o.a. met de ruilverkavelingen bezig houdt, nauw betrokken geweest bij de ontwikkelingen op het platteland. In samenwerking met Natuur en Techniek besloot de Landinrichtingsdienst de veranderingen die op het platteland hebben plaatsgevonden bij gelegenheid van haar jubileum in een boek in beeld te brengen. De auteur Jan Groeneveld heeft daarover een boeiend verhaal geschreven, verlevendigd met veel illustraties en interviews met mensen die de veranderingen van dichtbij hebben meegemaakt. Die veranderingen worden bovendien beschreven tegen een achtergrond van de sociaal-economische ontwikkelingen.



Hoe een en ander met elkaar samenhangt, is nog eens verduidelijkt in beschrijvingen van negen markante gebieden in Nederland: Ameland, Staphorst, Walcheren, de Betuwe, het Geestmerambacht, het Zuidlimburgse Mergelland, Giethoorn, Midden-Delfland en de Groningse Veenkoloniën.

Veel is er veranderd... ook op de boerderij





## Een nieuwe koers

Na de oorlog volgen enkele jaren van herstel en dan slaat Nederland een nieuwe koers in: industrialisatie. De produktiviteit in de landbouw moet stijgen door mechanisatie. Landbouwtrekkers vervangen hand- en paardekrachten. De melkmachine is niet meer weg te denken. Gespecialiseerde zaai- en oogstmachines doen hun intrede. Er kan meer werk worden verzet, grotere akkers bewerkt en meer vee gehouden worden. De bedrijven worden groter, de bedrijfsvoering efficiënter. Dat betekent ook minder werk. Velen gaan in de industrie werken, waar hoge lonen worden betaald. De veranderingen op het platteland worden begeleid door ruilverkavelingen. Er ontstaat een nieuw landschap.

Links: het streekdorp Staphorst. Na versnippering van de grond gedurende vele generaties was ruilverkaveling pure noodzaak.

Hieronder: de mechanisatie in de landbouw leidde tot grotere bedrijven en meer specialisatie

## Romantiek of armoede?

Met weemoed wordt nogal eens teruggekeken naar het platteland, zoals we denken dat het vroeger geweest is. Foto's en documenten uit bijvoorbeeld de tijd net voor de oorlog bewijzen echter dat het toenmalige leven op het platteland voor de meeste boeren en landarbeiders een armoedig bestaan betekende. De crisis van de jaren dertig had rampzalige gevolgen. Toch zijn er in die tijd grote veranderingen teweeg gebracht. Met de schop zijn tienduizenden werklozen aan het werk gezet. Nieuw land is ingepolderd en woeste grond ontgonnen om meer mensen een bestaan te bieden. De Tweede Wereldoorlog, die ook daar grote schade veroorzaakte, was een breekpunt in die ontwikkeling.







In nieuwe vormen vervaagt het verleden

## Landinrichting en groene ruimte

De "groene ruimte" is schaars in Nederland, en veel belangen strijden er om voorrang. Het bewustzijn van de waarde van de natuur is sterk gegroeid; tegen aanslagen erop wordt fel geprotesteerd. Het streven naar behoud van natuur en landschap komt vaak tegenover de belangen van stadsuitbreiding, landbouw en recreatie te staan. Verstandig afwegingen doen en vooruitziend plannen maken zullen een antwoord moeten geven op de vraag hoe het platteland het beste kan worden ingericht.



Landmeten is een onmisbare activiteit bij landinrichting.

## De paden op, de surfplank mee

Werd het platteland vroeger door de stedeling beschouwd als bron van voedsel en mogelijkheid tot geldbelegging, nu vervult het meer functies. De uitbreiding van de steden en het wegennet doen een aanslag op het grondoppervlak, en ook om andere redenen komt het landelijk gebied steeds meer in de belangstelling. Waar kun je beter terecht als je het stof van de stad wilt afschudden en de openheid van het land wilt ervaren? Meer vrije tijd, de natuur als ideaal en de populariteit van sportieve ontspanning in de natuur vragen de ruimte.

Land tussen rivieren. De Lek bij Lexmond







De oude watermolen: een monument voor het platteland in beweging



Het moderne verkeer heeft een groot beslag gelegd op het landelijke gebied

## Een voortdurend proces

Aanleg van nieuwe wegen en verstedelijking doorbreken oude patronen van landbouwgronden en brengen vaak natuur en landschap in het gedrang. Door versterking van de groene ruimte met landinrichting kan de druk van de verstedelijking worden opgevangen. Daarbij gaat het ook om uitbreiding van de recreatieve mogelijkheden voor de stedeling.

Landinrichting is een samenspel tussen natuur en cultuur, in de wetenschap dat Nederland nooit "klaar" zal zijn.

Watersport: een nieuwe vorm van recreatief gebruik van het platteland



**VERANDEREND NEDERLAND**  
Een halve eeuw ontwikkelingen  
op het platteland



## Veranderend Nederland, een bijzonder boek

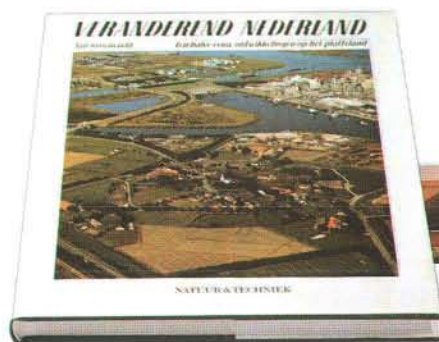
VERANDEREND NEDERLAND laat zich niet zonder meer zetten in de rij van boeken over landschappen en natuurgebieden. In ons land is vrijwel iedere plaats door mensen beïnvloed. Dit boek behandelt op indrukwekkende wijze de maatschappelijke problematiek die hieruit voortvloeit.

De vele illustraties zijn voor een groot deel gemaakt door fotografen en kartografen van de Landinrichtingsdienst. Historisch materiaal werd opgediept uit oude archieven door de auteur en de redactie van Natuur en Techniek, welke laatste ook de eindredactie verzorgde. De fraaie vormgeving is het werk van de studio van Natuur en Techniek. De tekst wordt voorafgegaan door een ten geleide van de Minister van Landbouw en Visserij en een voorwoord van de auteur. Het boek is voorzien van een literatuuroppgave. Het is in linnen gebonden (met stofomslag) en telt 256 pagina's met ruim 500 illustraties, grotendeels in vierkleurendruk.

Verbetering van woon-, werk- en leefklimaat

## Aan onze abonnees

Gedurende het jubileumjaar van de Landinrichtingsdienst, 1985, geldt voor dit boek een intekenprijs van f 69,50 of 1335 F (exclusief verzendkosten). Na 1 januari 1986 wordt de prijs f 95,- of 1825 F. U kunt dus nu nog profiteren van de lage prijs. Wellicht zoekt u, met het oog op de naderende decembermaand, een passend cadeau voor een goede relatie, vriend of familielid. Met VERANDEREND NEDERLAND weet u zeker dat uw geschenk gewaardeerd zal worden. Voor uw bestelling kunt u gebruik maken van de bij dit nummer gevoegde antwoordkaart. In dat geval adviseren wij u die kaart per omgaande in te sturen, zodat wij u het boek tijdig kunnen toezenden.





# ALS IEMAND U DIT KAARTJE LAAT ZIEN, KUNT U BETER WAT DUIDELIJKER ZIJN.



Als iemand u laat weten dat hij of zij doof is, zorg dan dat uw gezicht goed zichtbaar is, spreek langzaam en dui-de-lijk en herhaal zonodig dingen of schrijf ze op.

Zo bevordert u het contact. En dat is belangrijk. Want dove mensen horen er bij. **SIRE**

PUBLIKATIE AANGEBODEN DOOR DIT BLAD, IN SAMENWERKING MET DE STICHTING IDEELE RECLAME.

---

# Wat je van erfelijkheid moet weten voor je aan kinderen denkt.

Erfelijke factoren bepalen mede de geestelijke en lichamelijke gesteldheid van kinderen. Het is goed dat aanstaande ouders zich tegenwoordig over deze materie kunnen laten voorlichten. En het is ook goed dat particuliere ziektekostenverzekeraars en het Ziekenfonds de kosten daarvan betalen.

Er is nu een boekje verschenen over erfelijkheidsvoorlichting dat u

eens moet lezen. Dit boekje van de Vereniging Samenwerkende Ouderen Patiëntenorganisaties kunt u gratis aanvragen.

Een gefrankeerde brief naar:  
IDC, Postbus 70, 3500 AB Utrecht  
is voldoende.

**ERFELIJKHEIDSVOORLICHTING.  
ZORG DAT Ú DE WEG WEET.**